『日常』と学ぶ 物理基礎 が面白いほどわかる本

新課程版

中経出版 4414




新課程版
2012年4月以降入学生対象

# 『日常』と学ぶ 物理基礎 が面白いほどわかる本

nichijou
arawi keiichi


テキスト執筆
駿台予備学校講師
大渕 一彦

イラスト監修
東雲研究所


nichijou to manabu butsurikiso



じゃじゃーん！
「物理基礎」の参考書ができました！

わぁー、これで
みなさん「物理基礎」
は完璧ですね。



「物理基礎」を学習する上で、キーポイントとなる項目を中心にまとめました。用語・原理・物理公式は「ここがエッセンス」で確認し、物理現象のくわしい説明は「よくわかる解説」で理解しましょう。



ねえねえ？「物理基礎」ってどう勉強すりゃいいの？

チョットチョット、
ゆっこ、この本で
勉強してみなよ！





ゆっこ、わたし
に任せて。

それでは物理の
授業を始める！



本書は日常学習や定期テスト対策、
センター試験対策まで使えます。

## テキスト執筆

### 大渕　一彦（おおぶち　かずひこ）

山形県酒田市（旧平田町）生まれ。山形県立酒田東高等学校、名古屋大学工学部応用物理学科卒。大学時代はサイクリング同好会に所属し、北海道から九州に至る日本各地とアメリカ（サンフランシスコ～ヨセミテ）を自転車で駆け回る。

現在は駿台予備学校仙台校にて「物理」「数学」を指導。「数学」「公民」の高校教員免許、経営コンサルタントの国家資格である中小企業診断士、第２種情報処理技術者、１級販売士などの資格を持ち、「物理」の指導だけに留まらない幅広い知識を有する才人。趣味は、バイクツーリング。

著書に、『物理Ⅰ 即効！ でるとこだけ』『物理Ⅱ 即効！ でるとこだけ』『物理基礎早わかり　一問一答』『物理早わかり　一問一答』（以上、中経出版）がある。

## イラスト監修

### 東雲研究所（しののめけんきゅうじょ）

TVアニメ『日常』の製作委員会。
『日常』という作品を世に送り出した悪の枢軸集団！（え!?　ホント!?）
「東雲研究所は今日も平和であった。」

カバーイラスト／©あらゐけいいち・角川書店／東雲研究所
カバーデザイン／熊アート

ISBN978-4-8061-4414-4
C7042 ¥1000E

定価：本体1000円＋税

Mai



Yukko



Mio



『日常』と学ぶ 物理基礎が面白いほどわかる本

新課程版

中経出版
4414



TVアニメ 『日常』

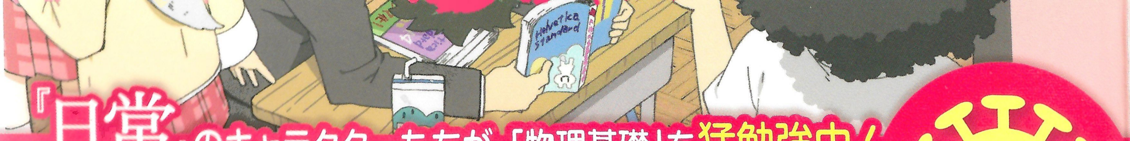
ブルーレイ&DVDシリーズ発売中

©あらゐけいいち・角川書店／東雲研究所



新課程版

中経出版
4414



『日常』のキャラクターたちが、「物理基礎」を猛勉強中！

大人気作品 『日常』と学習参考書の究極コラボ！

角川書店の月刊誌「少年エース」「なのエース」に連載中！

カバー裏は、特製ポスターになっています！






新課程版
2012年4月以降入学生対象

# 『日常』と学ぶ 物理基礎が面白いほどわかる本

nichijou
arawi keiichi

テキスト執筆
大渕 一彦
駿台予備学校講師

イラスト監修
東雲研究所

nichijou to manabu butsurikiso

『日常』と学ぶ 物理基礎が面白いほどわかる本

新課程版

経出版
4414

# 『日常 nichijou arawi keiichi』と学ぶ
# 物理基礎
# が面白いほどわかる本

大渕　一彦
*Kazuhiko　Oobuchi*

〔イラスト監修〕
東雲研究所
*Shinonome Lab*

＊　この本には付録として「赤色チェックシート」がついています。
角張っているので，手を切らないようにご注意ください。

中経出版

# は じ め に

「はじめに」を読んでくれてありがとう！

これから，「**物理基礎**」を得意にするために必要なことをたくさんお話するから，最後までよく読んでね。

## 1　物理基礎って何？

「**物理基礎**」は，中学理科第１分野の内容を少し深く掘り下げて学習していく科目だよ。中学では，運動とエネルギー，力の働き，電流とその利用といった内容を学習したと思うけど，それらをより詳しく学習していくのが「**物理基礎**」なんだ。

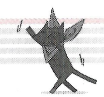
大学の理系学部に進学する人は，「**物理基礎**」が終わると，その次は「物理」を学習するんだけど，「物理」では，いろいろな運動を扱ったり，音と光，電気と磁気についても詳しく学習していくから，ちょっと難しい内容になってくるぞ。でも，大丈夫。「物理」の基礎である「**物理基礎**」さえしっかりマスターできていれば，「物理」の内容もちゃんと理解できるから，怖がることはないよ。まずは，「**物理基礎**」をしっかりマスターできるようにがんばってね。

## 2　物理基礎の勉強のしかた

さて，ここからが大事なポイントだ。君たちは中学時代に，どんなふうに理科の勉強をしてきたかな。たとえば，こんな感じでやってきたんじゃないかな。

①　予習として教科書を読んでくる。
②　授業中は黒板の内容をノートにきれいに写す。
③　復習としてノートを見直し，大事なところを覚える。

一見完璧な勉強方法のように思えるよね。でも，これでは「**物理基礎**」を得意にすることはできないんだ。中学では①➡②➡③のやり方





で通用したかもしれないけど，高校ではそれが通用しないんだよ。中学では「暗記する」ことが勉強の中心になっていたと思うけど，高校では**「理解する」ことの方が重要になってくる**んだ。だから，①➡②➡③のやり方を，次の①′➡②′➡③′に変えていくことが必要なんだよ。

①′　**予習として教科書を読むときは，なぜそうなるのかを考え，理解しながら読む**。そのとき，ただ読むだけでなく，どのように公式が導かれるのかというプロセスを自分の手を動かして計算してみる。ただし，予習なのでできる範囲で構わない。
②′　ノートに写すこと，きれいなノートをつくることが目的ではない。授業中，最も大切なことは，**先生の話をよく聴き，理解することだ**。黒板の内容はササッとノートに写し，黒板に書いてないことでも，先生が話したことで大事だと思ったことは，どんどんノートにメモしていく。
③′　ノートをただ丸暗記しても，問題が解けるようにはならない。**実際に問題を解きながら，公式や解き方を身体で覚えていく**。その点はスポーツとよく似ている。

このやり方を実践してもらえば，必ず「**物理基礎**」が得意になるよ。がんばってやってみてね。でも，勉強していくとわからないことって必ず出てくるんだよね。そんなときは，この参考書がきっと君を助けてくれるはずだ。この参考書をきっかけに，「**物理基礎**」ができるようになることを祈っているよ。

最後に本書を書くにあたり，貴重なアドバイスをくださった中経出版の山川徹氏，山﨑英知氏，そして，㈱角川書店「少年エース」編集部には，この場をお借りして感謝申し上げます。

2012年６月

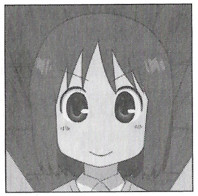
大渕　一彦



## 【『日常』の作品紹介】

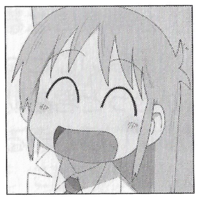
『日常』（にちじょう）とは，あらゐけいいちによる，ギャグ漫画作品。『月刊少年エース』，『4 コマなのエース』（角川書店）で連載中（2012年現在）。2011年 4 月に京都アニメーション制作で TV アニメ化され，独立 U 局を中心に各局系列，さらに NHK E テレでも放映された。本作品の主な舞台となるのは，時定高校と東雲研究所で，女子高生たちの不可思議な「日常」をモチーフにし，奇想天外で非日常的なアクシデントの連続に振りまわされる情景をシュールタッチで描いたギャグコメディである。

## 【『日常』の登場人物紹介】



東雲研究所に住んでいるロボットで，「はかせ」に造られたといわれている。普段は「はかせ」の世話や，黒猫「阪本（さん）」と一緒に暮らしている。背中のゼンマイ回しがなければ，だいたい普通の女子高校生。

▲なの（東雲なの）



自称ロボット「なの」を製作した天才少女。天真爛漫で子供のようなわがままな性格。非常に優れた開発能力がありながら，あまり役に立てていない。

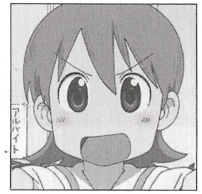
▲は か せ



「はかせ」に拾われた黒猫で，「はかせ」が作った動物の言葉を理解できる赤いスカーフのおかげで，人間と会話ができる。研究所では，「はかせ」には振り回されっぱなし。

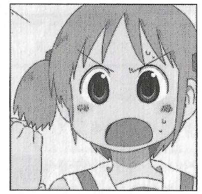
▲阪本さん





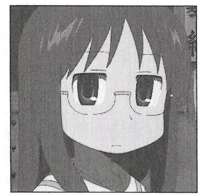

いつも暴走しがちな女子高生。勉強が苦手で，宿題を忘れることが多いので，よく廊下に立たされる。ダジャレで笑わそうとするが，みおと麻衣によくスルーされる。

▲ゆっこ（相生祐子）



ゆっこと名コンビの親友。ゆっこのボケにツッコミを入れる。趣味は漫画を描くことで，よくノートに妄想を描いている。

▲みお（長野原みお）



「ゆっこ」「みお」と同じクラスの仲良し。成績は優秀で，性格はおとなしく，無口な彼女はどんなときでもマイペースだが，予想外のボケをするため，みんながついてこられない。

▲麻衣（水上麻衣）



理科教師。ロボット女子高生である「なの」に興味を持ち，捕獲しようと企てるが失敗ばかりしている。「阪本さん」の元飼い主。

▲中村先生

# 本書の特長と使い方

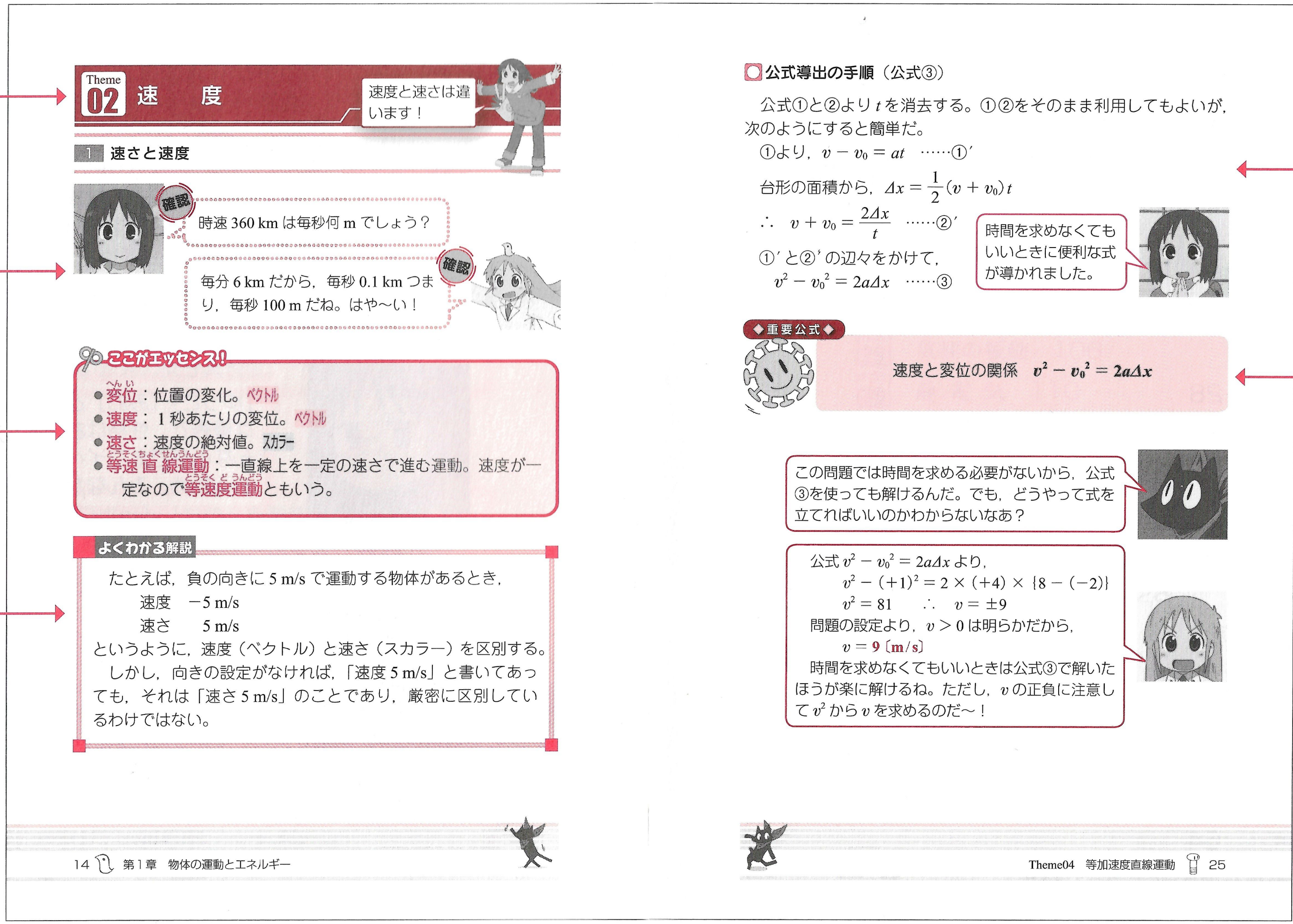
この本は，キャラクターたちによる発話を通じて「物理基礎」を「見て楽しい」「読んでわかる」ような構成にしました。教科書を理解する上でエッセンスやキーポイントなる項目を解説しています。何を理解すべきなのか，原理・公式をどのように適用していけばよいのかなど，普段の授業では味わえない予備校講師による講義を堪能してください。また，付属のチェックシートもご活用ください！

「物理基礎」を理解するためのエッセンスを40テーマ選びました。“教科書がよくわかる”をコンセプトに，キーポイントとなる項目を学習します。

これから学ぶテーマの確認事項です。中学理科で習ったことを思い出しましょう！

テーマの「エッセンス」を確認します。重要な用語や定義ばかりなので，しっかり覚えましょう。

「ここがエッセンス！」で登場した重要項目について，どのように理解すればよいか，わかりやすく解説します。



Theme 02 速　度

速度と速さは違います！

1 速さと速度

確認 時速 360 km は毎秒何 m でしょう？

確認 毎分 6 km だから，毎秒 0.1 km つまり，毎秒 100 m だね。はや～い！

ここがエッセンス！

- 変位（へんい）：位置の変化。ベクトル
- 速度：1 秒あたりの変位。ベクトル
- 速さ：速度の絶対値。スカラー
- 等速直線運動（とうそくちょくせんうんどう）：一直線上を一定の速さで進む運動。速度が一定なので等速度運動（とうそくどうんどう）ともいう。

よくわかる解説

たとえば，負の向きに 5 m/s で運動する物体があるとき，

速度　−5 m/s

速さ　　5 m/s

というように，速度（ベクトル）と速さ（スカラー）を区別する。

しかし，向きの設定がなければ，「速度 5 m/s」と書いてあっても，それは「速さ 5 m/s」のことであり，厳密に区別しているわけではない。

14 第 1 章　物体の運動とエネルギー

公式導出の手順（公式③）

公式①と②より $t$ を消去する。①②をそのまま利用してもよいが，次のようにすると簡単だ。

①より，$v - v_0 = at$ ……①′

台形の面積から，$\Delta x = \frac{1}{2}(v + v_0)t$

$\therefore \quad v + v_0 = \frac{2\Delta x}{t}$ ……②′

①′と②′の辺々をかけて，

$v^2 - v_0{}^2 = 2a\Delta x$ ……③

時間を求めなくてもいいときに便利な式が導かれました。

◆重要公式◆

速度と変位の関係　$v^2 - v_0{}^2 = 2a\Delta x$

この問題では時間を求める必要がないから，公式③を使っても解けるんだ。でも，どうやって式を立てればいいのかわからないなあ？

公式 $v^2 - v_0{}^2 = 2a\Delta x$ より，

$v^2 - (+1)^2 = 2 \times (+4) \times \{8 - (-2)\}$

$v^2 = 81 \qquad \therefore \quad v = \pm 9$

問題の設定より，$v > 0$ は明らかだから，

$v = 9$〔m/s〕

時間を求めなくてもいいときは公式③で解いたほうが楽に解けるね。ただし，$v$ の正負に注意して $v^2$ から $v$ を求めるのだ～！

Theme04　等加速度直線運動　25

テーマを学習する上で必要な項目についての解説です。公式の導出，具体的な例や問題を通じて理解度を高めます。

「物理基礎」を理解するための重要な公式を提示しています。重要用語とともにきちんと覚えましょう。

発展

「物理」の橋渡しとなる項目には「発展」アイコンをいれてあります。今は理解できなくても「物理基礎」を一通り勉強し終えた後や，余裕のある人はトライしてみてください。

# 目　次

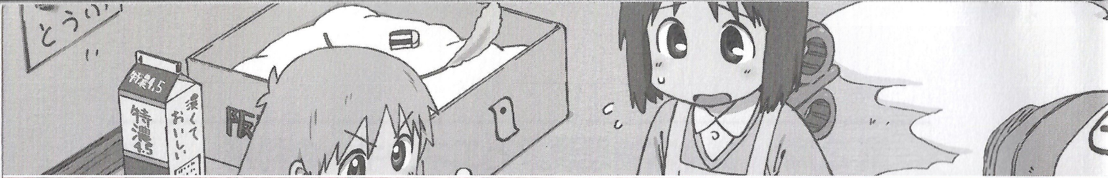












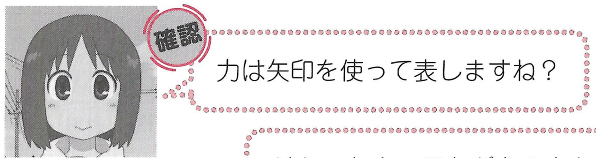
# 第１章　物体の運動とエネルギー

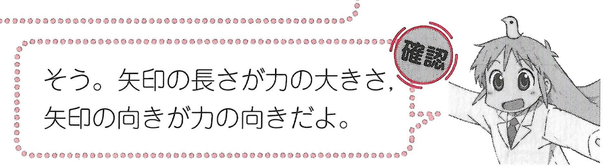
東雲研究所編

## Theme 01　物理に必要な数学




### 1　ベクトルとスカラー




**ここがエッセンス！**

- **ベクトル**：大きさと向きをもつ量。$\vec{F}$ のように矢印をつけた記号で表す。
  - 例　速度，加速度，力
- **スカラー**：１つの数量で表される量。
  - 例　質量，仕事，エネルギー，温度

**よくわかる解説**

たとえば，Theme 12 で登場する運動方程式（うんどうほうていしき）は，質量（スカラー）を $m$，加速度（ベクトル）を $\vec{a}=(a_x,\ a_y)$，力（ベクトル）を $\vec{F}=(F_x,\ F_y)$ とすると，

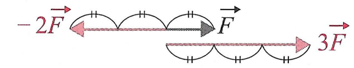
$$m\vec{a}=\vec{F}\quad \text{または}\quad \begin{cases} ma_x=F_x \\ ma_y=F_y \end{cases}$$

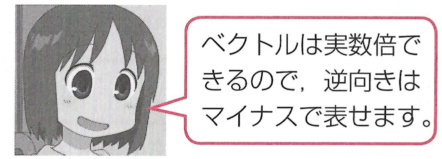
と表される。記号の使い方にこれから慣れていこう。



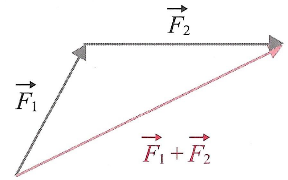
ベクトル記号の使い方について，簡単に説明しておこう。

① **実数倍**



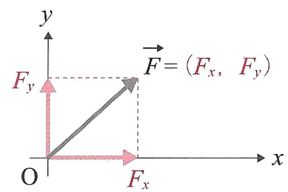

② **和の定義**

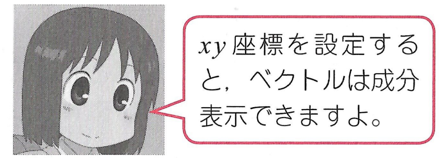






③ **成分表示**

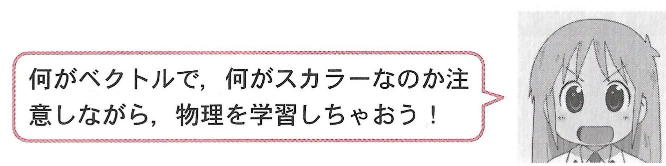



たとえば，物体に２つの力 $\vec{F_1}$ と $\vec{F_2}$ がはたらくとき，その２つの力の合力 $\vec{F_1}+\vec{F_2}$ は「② 和の定義」のように，作図して求めることができる。向きの異なる２つの力の合力を求めるときは，ベクトルの和で求めるんだ。

一方，質量のようなスカラーは，10 kg ＋ 20 kg ＝ 30 kg のように，数量をそのまま加えるだけでいいね。

ベクトルとスカラーでは，和の求め方に違いがあるんだよ。



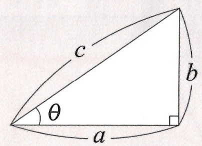
## 2 三 角 比




### ここがエッセンス！

● 鋭角（えいかく）の三角比

$\sin\theta = \dfrac{b}{c}$　　$\cos\theta = \dfrac{a}{c}$　　$\tan\theta = \dfrac{b}{a}$




力の分解でよく使うよ

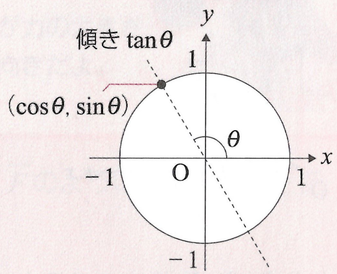
● 鈍角（どんかく）の三角比（三角関数）

単位円周上の点の座標と直線の傾きで図のように定義する。

例　$\cos 90^\circ = 0$

　　$\cos 180^\circ = -1$

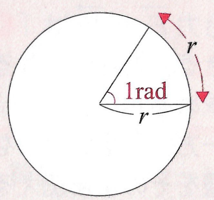
仕事の計算で必要だ！



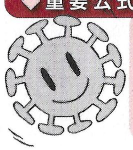

● ラジアン（弧度法（こどほう））

半径と等しい円弧に対する中心角を 1 ラジアン（rad）と定義する。

例　$180^\circ = \pi$〔rad〕




◆重要公式◆



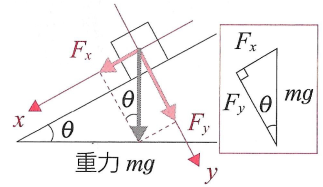
$$\tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \qquad \sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$





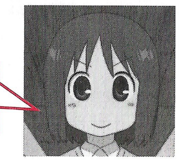
よく使う三角比の計算例を紹介するよ。

### 例① 力の分解

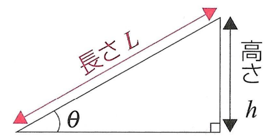



$\sin\theta = \dfrac{F_x}{mg}$，　$\cos\theta = \dfrac{F_y}{mg}$ より，

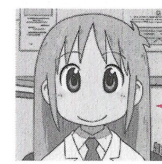
$F_x = mg\sin\theta$，$F_y = mg\cos\theta$



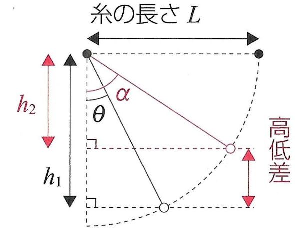

### 例② 斜面の長さ




$\sin\theta = \dfrac{h}{L}$ より，　$L = \dfrac{h}{\sin\theta}$



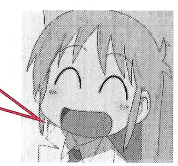

### 例③ 振り子の高低差




$\cos\theta = \dfrac{h_1}{L}$，　$\cos\alpha = \dfrac{h_2}{L}$ より，

$h_1 = L\cos\theta$，$h_2 = L\cos\alpha$

高低差は，$h_1 - h_2 = L(\cos\theta - \cos\alpha)$



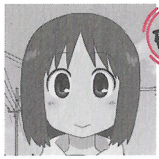



## Theme 02 速　　度

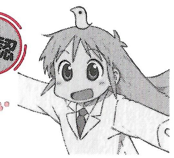


速度と速さは違います！

### 1 速さと速度



確認 時速 360 km は毎秒何 m でしょう？



確認 毎分 6 km だから，毎秒 0.1 km つまり，毎秒 100 m だね。はや〜い！

**ここがエッセンス！**

- **変位**（へんい）：位置の変化。ベクトル
- **速度**： 1 秒あたりの変位。ベクトル
- **速さ**：速度の絶対値。スカラー
- **等速直線運動**（とうそくちょくせんうんどう）：一直線上を一定の速さで進む運動。速度が一定なので**等速度運動**（とうそくどうんどう）ともいう。

**よくわかる解説**

たとえば，負の向きに 5 m/s で運動する物体があるとき，

速度　－5 m/s

速さ　　5 m/s

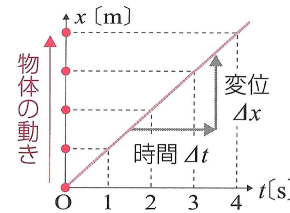
というように，速度（ベクトル）と速さ（スカラー）を区別する。

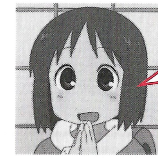
しかし，向きの設定がなければ，「速度 5 m/s」と書いてあっても，それは「速さ 5 m/s」のことであり，厳密に区別しているわけではない。



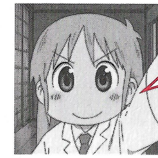
物体が $x$ 軸上を運動するとき，位置 $x$ と時刻 $t$ の関係を表す $x-t$ グラフの傾きは，物体の速度を表しているよ。

**▶ 等速直線運動**



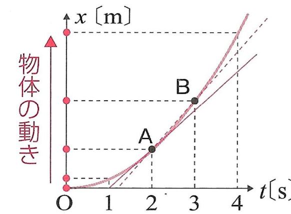



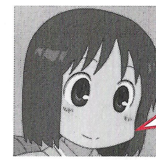
傾き $= \dfrac{\Delta x〔m〕}{\Delta t〔s〕}$ ＝ 速度〔m/s〕です。



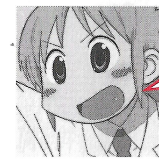
$x$ が一定の割合で増えるため，$x-t$ グラフは直線になるんだよ。

**▶ 等速でない直線運動**

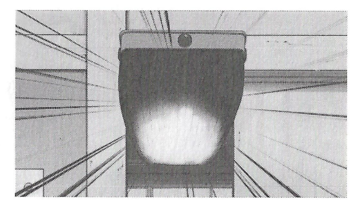


直線 AB の傾きは，$2 \leqq t \leqq 3$ における平均の速度を表しています。



A における接線の傾きは $t=2$ の瞬間の速度を表しているよ。



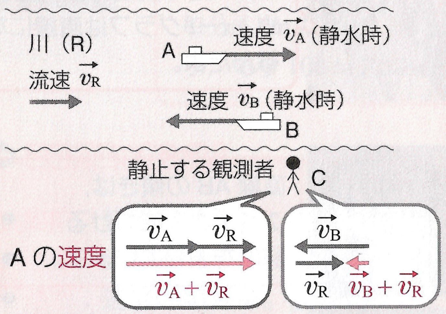


速度はベクトルなので合成，分解できます！

## 2 合成速度と相対速度

**ここがエッセンス！**

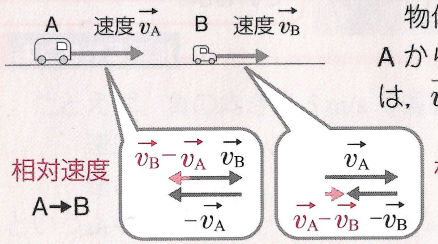
### ● 合成速度




動くものRの上を動く物体Aを静止する観測者Cが見るとき，物体の速度（合成速度（ごうせいそくど））は，$\vec{v}_A+\vec{v}_R$ である。

### ● 相対速度

物体AとBが動いているとき，Aから見たBの速度（相対速度（そうたいそくど））は，$\vec{v}_B-\vec{v}_A$ である。




見ているほうを引けばよい！

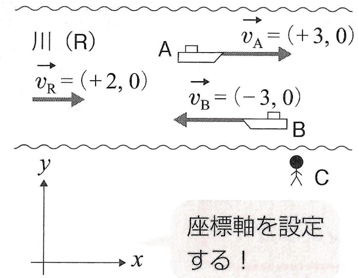
成分計算で解くこともできる。

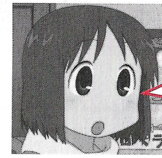




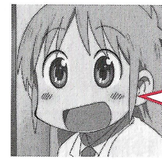
$xy$ 軸を設定すれば次のように成分計算できるよ。

### ▶ 合成速度



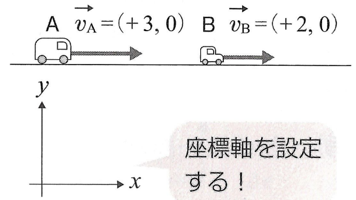



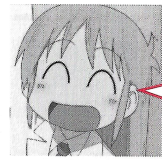
はかせ，これはどう計算すればいいですか？



$\vec{v}_A+\vec{v}_R$ の $x$ 成分は，
$(+3)+(+2)=+5$
となるよね。
$\vec{v}_B+\vec{v}_R$ の $x$ 成分は，
$(-3)+(+2)=-1$
となります。

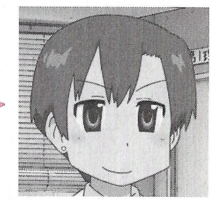
### ▶ 相対速度

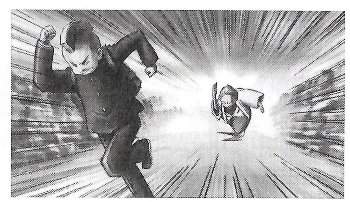


こっちはね〜，
$\vec{v}_B-\vec{v}_A$ の $x$ 成分は，
$(+2)-(+3)=-1$
$\vec{v}_A-\vec{v}_B$ の $x$ 成分は，
$(+3)-(+2)=+1$
なんだよ。

ベクトル図による解法と同じ結果だ！
ベクトル図で解くか，成分計算で解くかはお前しだいだ！

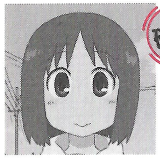




# Theme 03 加速度と $v-t$ グラフ




## 1 加速度



**確認** 速度が 5 秒間で 50 m/s 増えました。加速度はいくらでしょうか？



**確認** 1 秒間で 10 m/s 加速したから 10 m/s² だね。

### ここがエッセンス！

- 加速度（かそくど）：1 秒あたりの速度変化（そくどへんか）。ベクトル
  単位 〔m/s²〕（メートル毎秒毎秒）
- 等加速度運動（とうかそくどうんどう）：加速度が一定の運動。とくに一直線上の場合を等加速度直線運動という。

### よくわかる解説

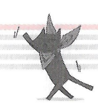
加速度の向きは，

① 運動の向きとは必ずしも一致しない。

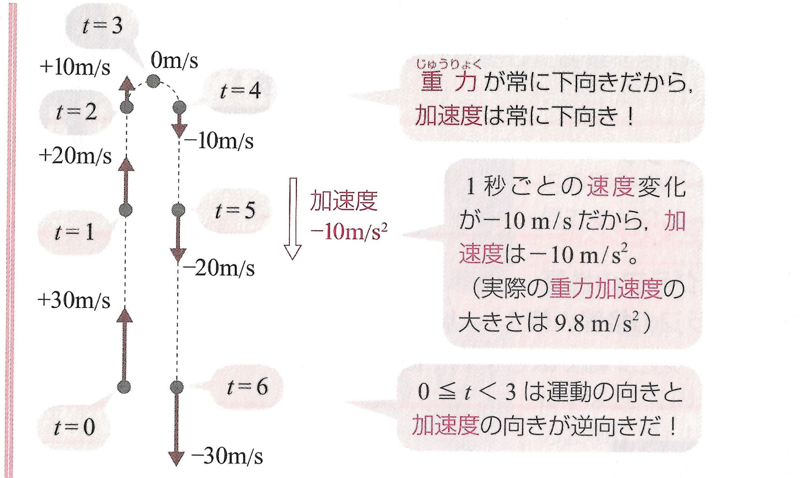
② 力の向きに一致する（$m\vec{a} = \vec{F}$）。

このことを**鉛直（えんちょく）投げ上げ運動（上向きを正とする）**を例に解説しよう。

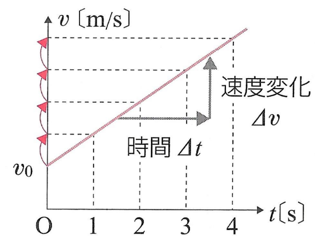
次のページのように，$t = 3$ s に最高点に達する場合を考えると，$0 \leqq t < 3$ のところでは，上向きに運動しているけど，加速度は下向きだ。加速度の正負は速度ではなく，速度変化の正負で決まるんだ。

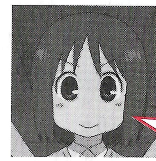







### ▶ 等加速度直線運動



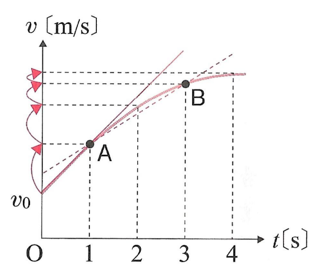



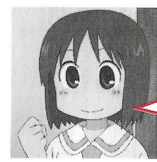
傾き $= \dfrac{\Delta v\,〔\mathrm{m/s}〕}{\Delta t\,〔\mathrm{s}〕}$ $=$ 加速度〔m/s²〕となります。



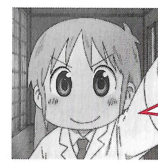
$v$ が一定の割合で増えるから，$v-t$ グラフは直線になるんだよ。

### ▶ 等加速度でない直線運動



直線 AB の傾きは，$1 \leqq t \leqq 3$ における平均の加速度を表しています。



A における接線の傾きは $t = 1$ の瞬間の加速度を表しているのです。





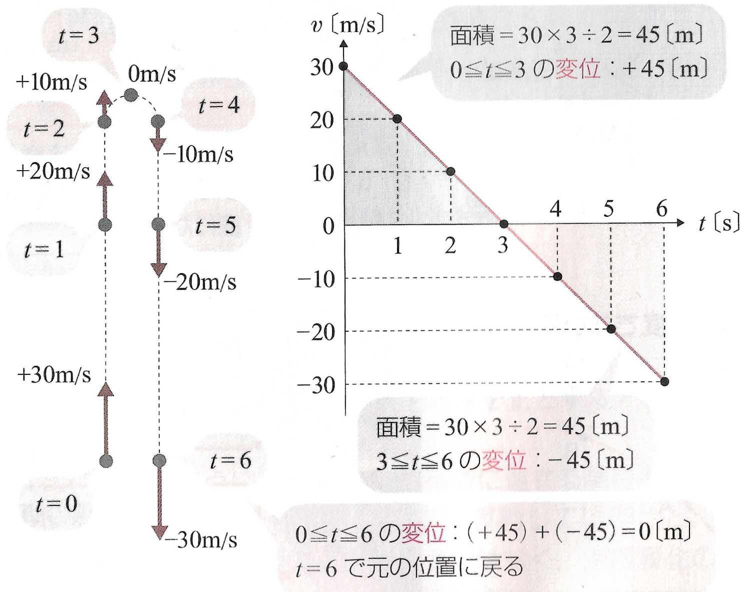

## 2 $v-t$ グラフ

**ここがエッセンス！**

- **$v-t$ グラフの性質**
  - **グラフの接線の傾き ＝ 加速度**（かそくど）
  - **グラフと $t$ 軸ではさまれた面積 ＝ 距離**

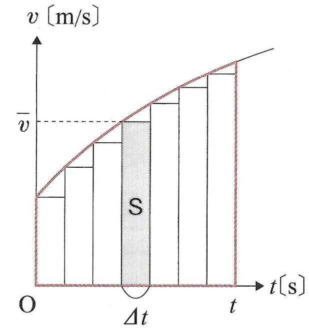
**よくわかる解説**

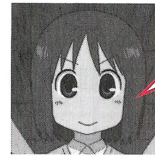
$t$ 軸の下側の面積は負方向に進む距離を表す。面積（距離）に正負の符号をつければ変位（へんい）になるよ。このことを，**鉛直**（えんちょく）**投げ上げ運動（上向きを正）**を例に解説しよう。



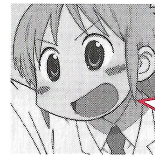



一直線上を運動する物体の $v-t$ グラフが図のように表されるとき，赤線で囲まれた面積が $t$ 秒間に物体が移動した距離を表していることを説明しよう。

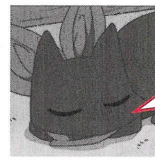


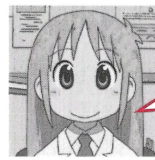
この囲みのポイントって何ですか？



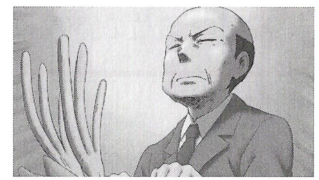
時間 $\Delta t$ の間，平均の速度 $\bar{v}$ で運動しているとみなすとき，移動距離 $\bar{v}\Delta t$ は左図の長方形 S の面積に等しいってことだよ。



つまり，$t$ 秒間の移動距離は，長方形の面積の総和で近似ってわけだ。



$\Delta t \to 0$ とすると，長方形の面積の総和は，赤線で囲まれた面積に近づく。よって，赤線で囲まれた面積は $t$ 秒間の移動距離に等しいんだよ。





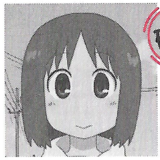
**変位，速度，加速度などのベクトル量を扱うときは，座標軸の設定が必要だ！**

Theme 04

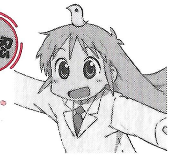
# 等加速度直線運動



等加速度運動に必要なのは①②だけです！



確認 等加速度直線運動って何ですか？



確認 加速度が一定の運動のことだよ。

## ここがエッセンス！

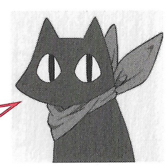
速度　$v = v_0 + at$　……①
（$v_0$：初速度，$a$：加速度，$t$：時間）

位置　$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$　……②
（$x_0$：初期座標）

変位（へんい）　$\Delta x = x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$　……②′

①②′から $t$ を消去すると，次の③が導かれる。

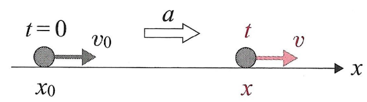
速度と変位の関係　$v^2 - v_0{}^2 = 2a\Delta x$　……③

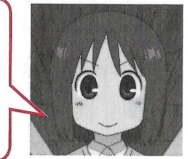


式①②だけでも解けるが，式③があると便利だぜ！



## 公式導出の手順（公式①②）



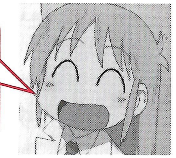



$t = 0$ に等加速度運動を始めた物体の，時間 $t$ 後の速度 $v$，位置 $x$ を求めてみましょう。

**手順 ❶**

加速度の定義より，$a = \dfrac{v - v_0}{t - 0}$

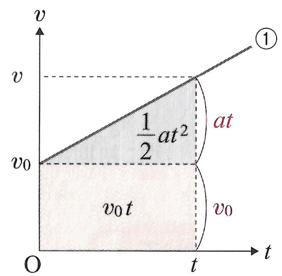
$\therefore\quad v = v_0 + at$　……①



加速度は1秒あたりの速度変化だったね。

**手順 ❷**

式①をグラフに表すと，次のような直線になる。




公式を自分の手で導いて「なるほど～」と納得しながら勉強していくと，物理が楽しくなるし，物理を得意にすることができるのだ。



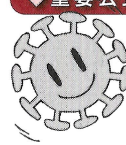
面積 ＝ 距離より，変位 $\Delta x$ は，

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

ここで，$\Delta x = x - x_0$ であるから，

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad \cdots\cdots ②$$

◆重要公式◆



速度　$v = v_0 + at$

位置　$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

## よくわかる解説

**等加速度運動を解く手順**

❶ 座標軸を設定する。
❷ $x_0$，$v_0$，$a$ を準備する。
❸ 公式に代入する。

この処理手順を身につけよう！

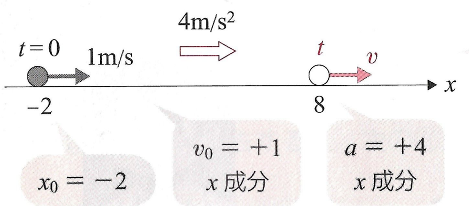
**問題**

加速度 $4\ \mathrm{m/s^2}$ で $x$ 軸上を運動する物体があり，時刻 0 に $x = -2\ \mathrm{m}$ を速度 $1\ \mathrm{m/s}$ で通過した。$x = 8\ \mathrm{m}$ を通過するときの速度 $v$ はいくらか。

**解答・解説**

公式①②を使って解いてみよう。

等加速度直線運動を解くときは，まず座標軸を設定し，次に初期座標，初速度，加速度を調べる。




まずは図をかいて視覚的にイメージすることが大切！

**公式②で時刻 $t$ を求め，次に公式①で速度を求めるという手順で解けそうだ。** 公式 $x = x_0 + v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2$ より，

$$8 = -2 + (+1) \times t + \frac{1}{2} \times (+4) \times t^2$$

$x_0$，$v_0$，$a$ を入れるだけ！

因数分解して，$(2t + 5)(t - 2) = 0$　　∴　$t = 2$〔s〕（$t > 0$ より）

これを公式 $v = v_0 + at$ に代入して，

$v = 1 + 4 \times 2 = $ **9〔m/s〕** …答



## 公式導出の手順（公式③）

公式①と②より $t$ を消去する。①②をそのまま利用してもよいが，次のようにすると簡単だ。

①より，$v - v_0 = at$　……①′

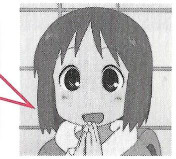
台形の面積から，$\Delta x = \dfrac{1}{2}(v + v_0)t$

∴　$v + v_0 = \dfrac{2\Delta x}{t}$　……②′

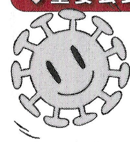
①′と②′の辺々をかけて，

$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$　……③

時間を求めなくてもいいときに便利な式が導かれました。

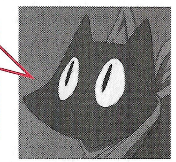


**◆重要公式◆**



速度と変位の関係　$\boldsymbol{v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x}$

この問題では時間を求める必要がないから，公式③を使っても解けるんだ。でも，どうやって式を立てればいいのかわからないなあ？



公式 $v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$ より，

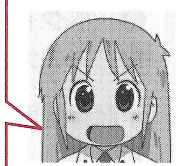
$v^2 - (+1)^2 = 2 \times (+4) \times \{8 - (-2)\}$

$v^2 = 81$　　∴　$v = \pm 9$

問題の設定より，$v > 0$ は明らかだから，

$v = $ **9〔m/s〕**

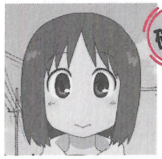
時間を求めなくてもいいときは公式③で解いたほうが楽に解けるね。ただし，$v$ の正負に注意して $v^2$ から $v$ を求めるのだ〜！





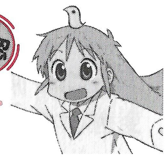
## Theme 05 力の表し方

これが力の表し方です！



確認 $\vec{F}$ と $F$ の使い方の違いって，わかりますか？

Theme 01 でやったベクトルとスカラーだよね。確認



### ここがエッセンス！

● 力：物体に加速度（かそくど）を生じさせる原因。ベクトル

単位 〔N〕（ニュートン）

### よくわかる解説

$\vec{F}$ と $F$ の違いについて解説するよ。

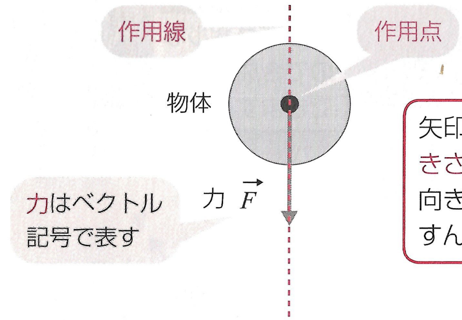
力はベクトルなので，$\vec{F}$ または成分（$F_x$，$F_y$）で表されるが，教科書や参考書ではよく $F$ と書かれているよね。この $F$ は，次の 2 つのどちらかを表しているよ。

❶ ベクトル成分（たとえば $\vec{F}=(F,\ 0)$ の $x$ 成分の $F$）

❷ 力の大きさ（たとえば $\vec{F}$ の大きさ $|\vec{F}|=F$）

試験問題で出てきた $F$ が❶と❷のどちらなのか，正しく読み取れるようにしておかないといけないね。向きの設定があれば❶，なければ❷と考えよう。



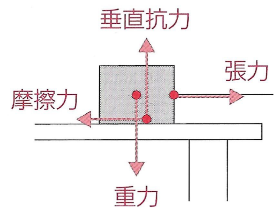



矢印の長さで力の大きさを表し，矢印の向きで力の向きを表すんだよ。

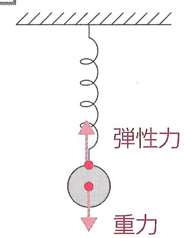


具体的な例をいくつかあげておこう。

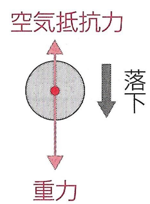
例①



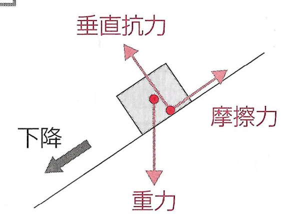

例②




例③




例④




力を図にかくときは作用点がどこにあるかを意識してかきましょう。

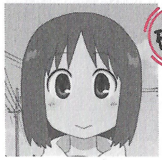


Theme 06

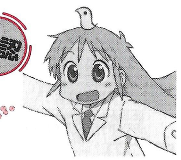
# 力の合成・分解



力はベクトルなので合成，分解できます！



確認 力の合成・分解は中学理科で習いましたね。

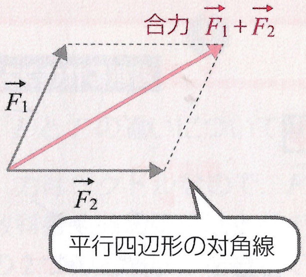


確認 ポイントは「平行四辺形の対角線」なのだ。

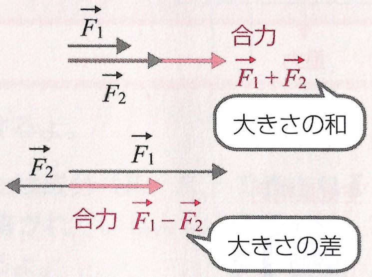
## ここがエッセンス！

### ●力の合成

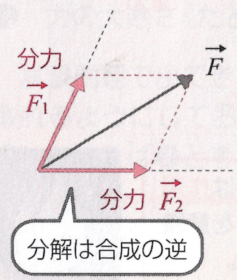
２力が平行でないとき



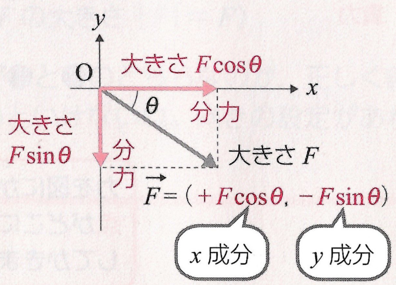

２力が平行のとき




### ●力の分解



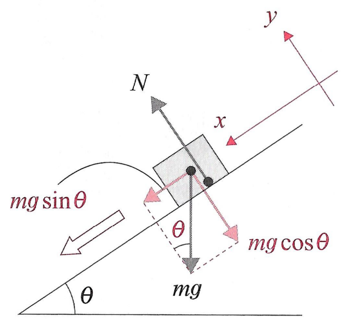

### ●力の成分

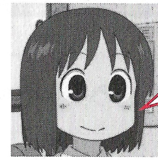





$xy$ 軸の設定によって，力の分解のしかたが決まる。例を用いて解説するよ。

例①

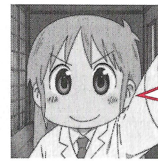


では，実際に力をかいてみましょう。

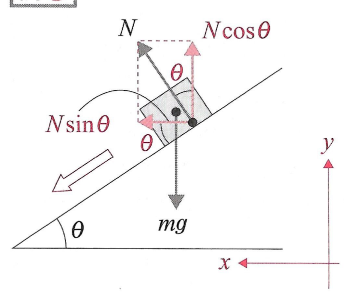
軸に合わせて重力(じゅうりょく)を分解。

合力：$\vec{F}=(mg\sin\theta,\ N-mg\cos\theta)$



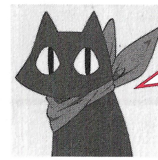
斜面上を物体がすべる場合はこのように軸を設定することが多いので，慣れておこう。

例②



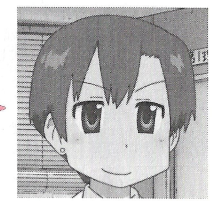

軸に合わせて垂直抗力(すいちょくこうりょく)を分解。

合力：$\vec{F}=(N\sin\theta,\ N\cos\theta-mg)$



問題によっては，このように軸を設定することもある。

$xy$ 軸は「運動の向き」に合わせて設定するとよい。基本的には 例① のようにすればよいが，斜面台も動くような発展的な問題では 例② のように設定することがあるぞ。

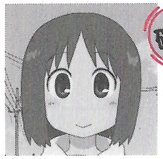


Theme 07

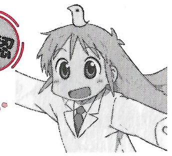
# 力のつり合い



合力は力のベクトル和です！



確認 2力がつり合う条件は何ですか？



確認 2力が一直線上，同じ大きさで逆向きにはたらくことだよ。

## ここがエッセンス！

- **力のつり合い**：1つの物体にいくつかの力が同時にはたらいても，それらの合力が0であるとき，これらの力はつり合っているという。
- **力のつり合いの条件**

表現① $\vec{F_1}+\vec{F_2}+\vec{F_3}+\cdots\cdots=\vec{0}$ （ベクトル記号で合力0）

表現② $\begin{cases} F_{1x}+F_{2x}+F_{3x}+\cdots\cdots=0 \\ F_{1y}+F_{2y}+F_{3y}+\cdots\cdots=0 \end{cases}$ （$xy$成分に分けて合力0）

## よくわかる解説

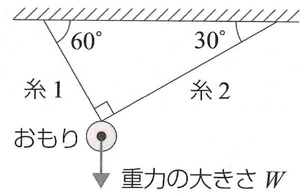
つり合い式の立て方は，次の2通りあるぞ。

方法① **ベクトル図から力の大きさの関係をとらえる**

方法② **$xy$成分に分解して成分ごとに合力0**



ここでは，3力の場合のつり合い式の立て方について解説するよ。右図において，糸の張力（ちょうりょく）がいくらか求めてみよう。

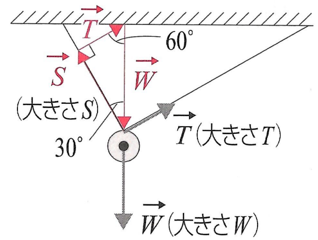


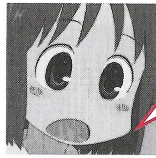

### 方法①

**ベクトル図から力の大きさの関係をとらえる**

➡ $T:W:S=1:2:\sqrt{3}$

$\therefore\ T=\dfrac{W}{2},\quad S=\dfrac{\sqrt{3}W}{2}$



直角三角形に注目してください。

### 方法②

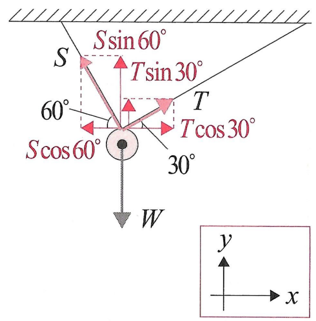
**$xy$成分に分解して成分ごとに合力0**

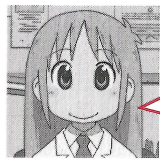
➡ 右図のように$xy$軸を設定

➡ $xy$成分の合力0

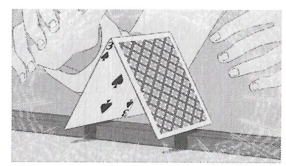
➡ $\begin{cases} (x)\ 0=T\cos30^\circ-S\cos60^\circ \\ (y)\ 0=T\sin30^\circ+S\sin60^\circ-W \end{cases}$

$\therefore\ T=\dfrac{W}{2},\quad S=\dfrac{\sqrt{3}W}{2}$



力の正負に注意するのだ！



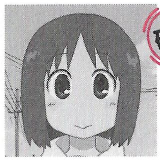
力のつり合い

Theme 08

# いろいろな力

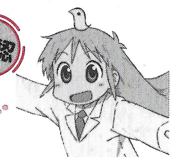
いろいろな力をこれから扱っていきます！





確認 触れ合ってはたらく力以外にはどんな力があるんですか？

確認 重力や磁気力のように離れていてもはたらく力がある〜。



## ここがエッセンス！

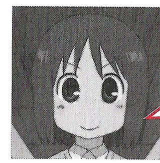
- 重力（じゅうりょく）：$mg$ ― 重力は遠隔力（えんかくりょく），その他の力は接触力だ
- 面から受ける力
  1. 垂直抗力（すいちょくこうりょく）：$(N)$
  2. 摩擦力（まさつりょく）
     - 静止摩擦力（せいしまさつりょく）：$(R)$ ― すべっていないとき
     - 最大摩擦力（さいだいまさつりょく）：$\mu N$ ― すべり出すとき
     - 動摩擦力（どうまさつりょく）：$\mu' N$ ― すべっているとき
- 糸の張力（ちょうりょく）：$(T)$ ― $(N)$，$(R)$，$(T)$ は，つり合い式や運動方程式を立てて求める！
- 弾性力（だんせいりょく）：$kx$
- 水圧：$p_0 + \rho gh$ ― 圧力（あつりょく）は力ではない！ 力＝圧力×面積
- 浮力（ふりょく）：$\rho Vg$
- 空気抵抗力：$kv$ と表されることが多い。



力を分類する方法はいろいろあるが，たとえば，遠隔力か接触力かで分類すると下のようになる。

| 遠隔力 | 接触力 | |
|---|---|---|
| 重力 | 垂直抗力 | 摩擦力 |
| 電気力 | 張力 | 弾性力 |
| 磁気力 | 浮力 | 空気抵抗力 |

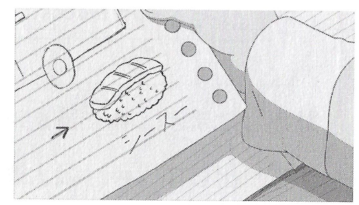
力学では力をもれなく図示することが重要だね。もれなく力を見つけるには，「遠隔力」か「接触力」かという視点で見ていくといいよ。



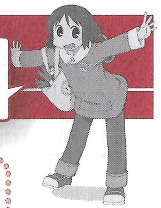
電磁気（でんじき）の分野では，重力以外にも電気力，磁気力という遠隔力が出てきます。



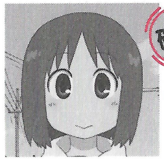
力学で出てくる遠隔力は重力しかないから，「重力以外は接触力」と覚えておいて，注目物体が何と接触しているかを見ていくと，力をもれなく図示できると思います。えっへん。



# Theme 09 垂直抗力と摩擦力



物体が面から受ける力ですよ！



確認 「なめらかな面」ってどんな面ですか？



確認 摩擦力のはたらかない面のことだよ。つるつる〜。

**ここがエッセンス！**

● 最大摩擦力（さいだいまさつりょく） $\mu N$ （$\mu$：静止摩擦係数（せいし））

垂直抗力　　面の状態で決まる値

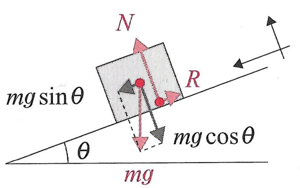
● 動摩擦力（どう） $\mu' N$ （$\mu'$：動摩擦係数）

**よくわかる解説**

静止摩擦力（せいしまさつりょく）を $\mu N$ とする誤りをよく目にする。静止摩擦力と最大摩擦力 $\mu N$ の違いを明確にしておこう。

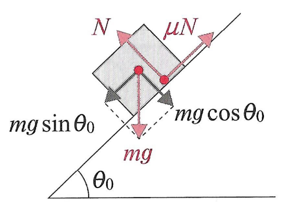
例　粗い斜面上に静止する物体

角度 $\theta$ のとき物体は静止したままだった。




➡

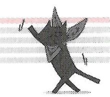
角度を $\theta_0$（$>\theta$）にすると物体はすべり出した。




静止したまま ➡ **静止摩擦力**

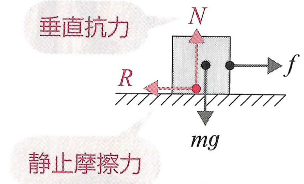
すべり出した ➡ **最大摩擦力 $\mu N$**

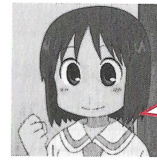
$R$ とおき，方程式を立てて求める



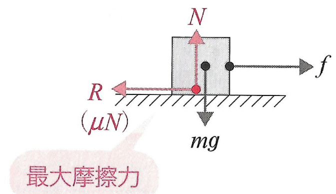


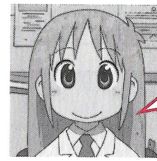
粗（あら）い水平面に物体を置き，大きさ $f$ の力で引くときの物体の運動を考えてみよう。



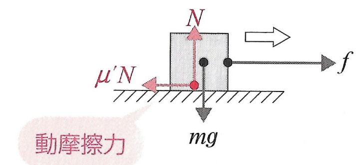



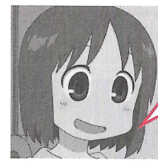
$f$ が小さいと物体は静止したままになります。力のつり合いより，$R=f$ となります。



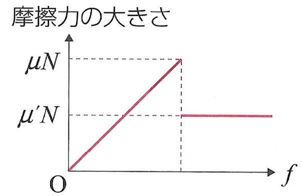



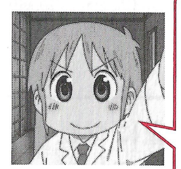
$f$ を大きくすると $R$ も大きくなり，ある限界をこえると物体はすべり出しちゃいます。だから，**すべり出す直前**の静止摩擦力を最大摩擦力っていうよ。



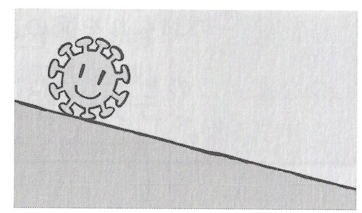



すべっている間にはたらく動摩擦力は，物体の速度によらず一定になります。



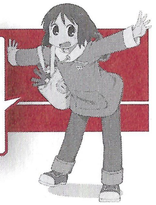



静止摩擦力は $\mu N$ 以下で，すべり出すときが最大摩擦力 $\mu N$。すべっているときは動摩擦力 $\mu' N$ なのだ。

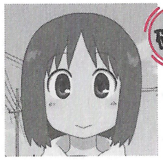




## Theme 10 弾性力



ばねの弾性力について確認しておきましょう。



確認 弾性力は変形した物体が元に戻ろうとする力です。

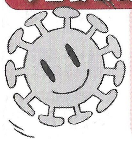
確認 そうだよ。ここでは，ばねの弾性力について見ていくよ〜。



### ここがエッセンス！

**「弾性力の大きさは伸び（縮み）に比例する」**ということをフックが発見した（フックの法則）。

### ◆重要公式◆

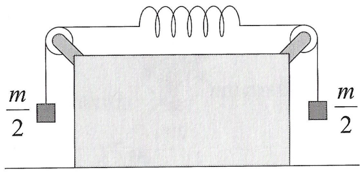


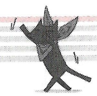
弾性力の大きさ〔N〕　伸び（縮み）〔m〕

フックの法則　$F = kx$（$k$：ばね定数〔N/m〕）

### 問題　センター本試験・改

質量 $m$ のおもりを鉛直につるすとき，$l$ だけ伸びる軽いばねがある。このばねの両端にそれぞれ質量 $\frac{m}{2}$ のおもりを図のようにつなぐ。このとき，ばねはいくら伸びるか。



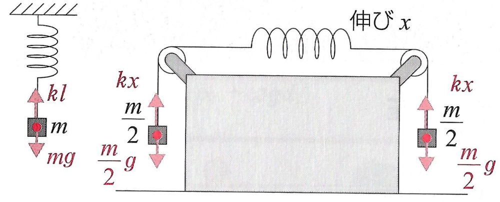


### 解答・解説

つり合い式は，

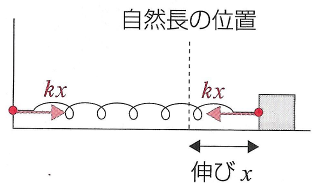
$$\begin{cases} kl = mg \\ kx = \frac{m}{2}g \end{cases}$$

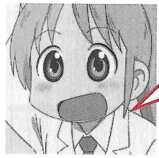
$$\therefore \quad x = \frac{l}{2} \quad \cdots 答$$




ばねの弾性力について確認しておこう。

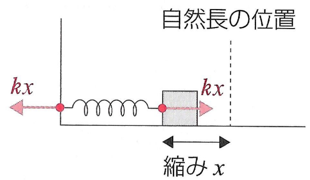
#### ① $x$ だけ伸ばしたとき



弾性力の向きは自然長に戻ろうとする向きだよ〜！

#### ② $x$ だけ縮めたとき






物体は自然長の位置を中心に往復運動します。

**前ページの問題で，$\frac{m}{2}$ のおもりが2個あるから，直感的に「伸びは $l$ だ」とする人が多いが，それは違います！　物理は直感（主観）で解いてはいけないです！　必ず式を立てて，客観的に分析するよう心掛けよう。はかせからのお願いです。**



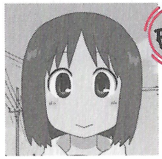


# Theme 11 水圧と浮力



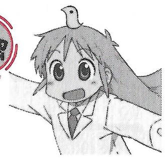
水圧は水の深さで決まります！

## 1 水　　圧



確認 圧力と力って何が違うんでしたっけ？

確認 圧力は力÷面積だよ〜。

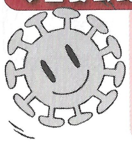


**ここがエッセンス！**

● 圧力（あつりょく）：単位面積あたりに垂直にかかる力。スカラー

単位 〔Pa〕(パスカル) = 〔N/m$^2$〕

**◆重要公式◆**



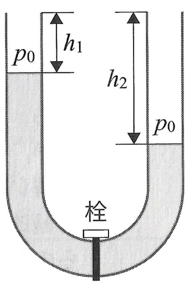
水深 $h$ の水圧　$p_0 + \rho g h$

（$p_0$：大気圧、$\rho$：水の密度）

**問題**　センター追試験・改

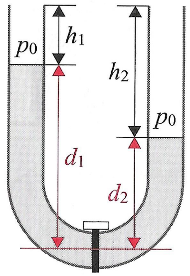
圧力 $p_0$ の大気中に，一様な太さのU字管が置かれている。U字管の底部中央には栓が付いており，栓を閉じてから密度 $\rho$ の液体を左右の口から入れたところ図のようになった。

栓の両側面にかかる圧力の差はいくらか。重力加速度は $g$ とする。





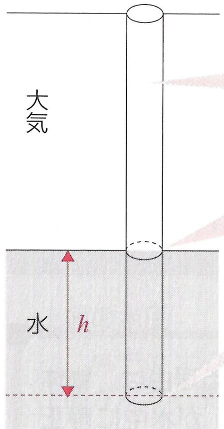

**解答・解説**




左右の液体の水面の高さを，それぞれ栓から $d_1$，$d_2$ とすると，栓の両側面にかかる圧力差は，

$$(p_0 + \rho g d_1) - (p_0 + \rho g d_2)$$
$$= \rho g (d_1 - d_2)$$
$$= \boldsymbol{\rho g (h_2 - h_1)}$$ …答

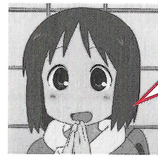
水深を自分で設定する




大気柱の重力 $p_0$

水面での大気圧 $p_0$

単位面積



水深 $h$ における水圧は，左図の円柱の重力（じゅうりょく）に等しいと考えられます。



大気柱の重力を $p_0$，水柱の重力を $\rho g h$ とすると，その合計より水圧は $p_0 + \rho g h$ と表されちゃうのだ！

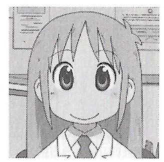
水の密度を $\rho$ とすると，水柱の質量が $\rho \times (1 \times h)$ なので，水柱の重力は，

$$\rho \times (1 \times h) \times g = \rho g h$$

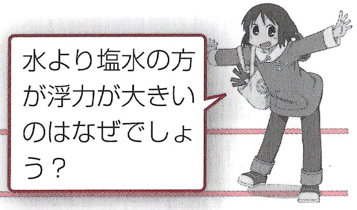
となることがわかる。

これが水深 $h$ での単位面積あたりの水圧に等しいのです。

**前ページの問題で，ゆっくり栓を開けるとどうなるかわかる〜？栓を開けると水が移動し，左右の水面の高さが等しくなっちゃいます。理解できた？**



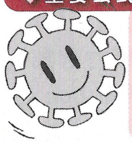
## 2 浮　力




**ここがエッセンス！**

- 流体（りゅうたい）：気体と液体の総称。
- 浮力（ふりょく）：流体中の物体が，流体から受ける押し上げる向きの力。
- アルキメデスの原理：浮力の大きさは，物体が押しのけた流体の重力（じゅうりょく）に等しい。

**◆重要公式◆**

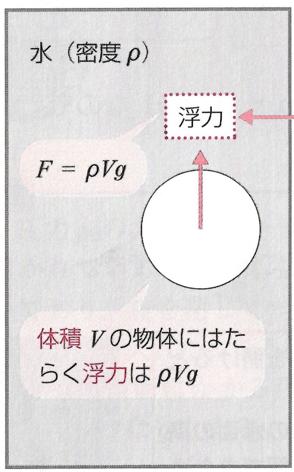


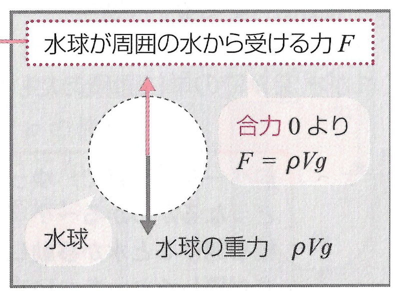
流体の密度　物体の体積

浮力　$\boldsymbol{\rho V g}$

**よくわかる解説**

浮力が $\rho Vg$ となる理由は，物体と同形の水（水球）が水中に静止していると考えることで説明できる。

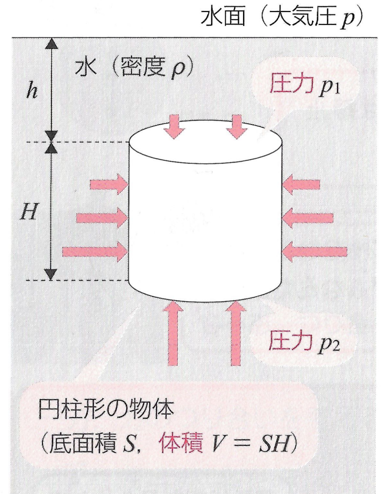


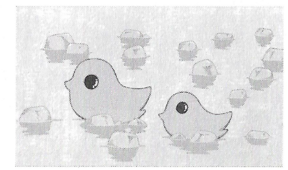





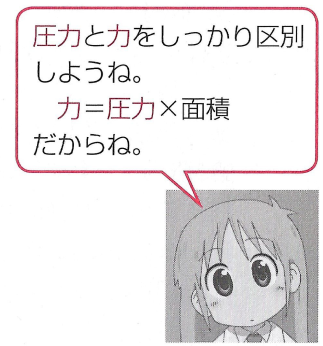

浮力の公式を，水圧の公式を使って導いてみよう。

たとえば，水中にある円柱にかかる浮力を，水圧の公式で計算してみよう。



浮　力




上面の水圧

$p_1 = p + \rho gh$

上面が水から受ける力

$p_1S = pS + \rho Sgh$　……①

下面の水圧

$p_2 = p + \rho g(h + H)$

下面が水から受ける力

$p_2S = pS + \rho Shg + \rho SHg$

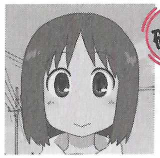
$\quad = pS + \rho Shg + \rho Vg$　……②

上面と下面が受ける力の合力（つまり浮力）は，式② − ①より，$\boldsymbol{\rho Vg}$ となる。



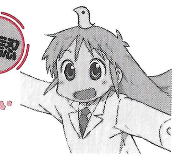

# Theme 12 運動の法則

## 1 ニュートンの運動の３法則



確認 合力が 0 のとき物体は静止するんですね。

確認 でもでもそれだけじゃないよ。等速直線運動も合力が 0 なんだよ。



### ここがエッセンス！

● ニュートンの運動の３法則

● **第1法則**　慣性（かんせい）の法則

物体にはたらく**合力が 0** のとき，

❶ 静止しているものは**静止**し続ける。

❷ 運動している物体は**等速直線運動**（とうそくちょくせんうんどう）をし続ける。

（運動状態を保とうとする性質を慣性という）

● **第2法則**　運動の法則

物体に合力 $\vec{F}$ がはたらくとき，

❶ 合力 $\vec{F}$ の向きに加速度（かそくど） $\vec{a}$ が生じる。

❷ 加速度の大きさは，

(1) 合力の大きさに比例する。

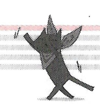
(2) 質量に反比例する。

（第2法則は運動方程式として表現されるよ！）

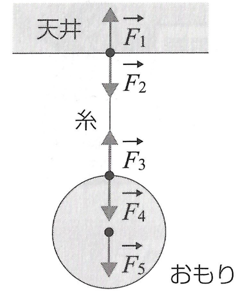
● **第3法則**　作用・反作用の法則

物体 A から物体 B に力をはたらかせると，物体 B から物体 A に，**同じ作用線上で，大きさが等しく，向きが反対の力**がはたらく。

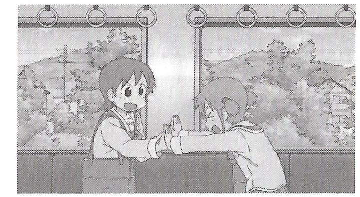
（2 力の一方を作用，他方を反作用という）



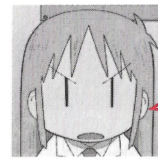





おもりを天井から糸でつるすと，左図のように $\vec{F_1}$ から $\vec{F_5}$ のような力がはたらいた。



作用・反作用の法則



作用・反作用の２力は，**2 物体がお互いに及ぼし合う力**だから，$\vec{F_1}$ と $\vec{F_2}$，$\vec{F_3}$ と $\vec{F_4}$ だね。
じゃあ，つり合う 2 力がどれとどれかわかるかな？

一方，力のつり合いを考える場合は，**1 つの物体に注目**する。

$\vec{F_1}$：天井が 糸を 引く力

$\vec{F_2}$：糸が天井を引く力

$\vec{F_3}$：糸が おもりを 引く力

$\vec{F_4}$：おもりが 糸を 引く力

$\vec{F_5}$：地球が おもりを 引く力

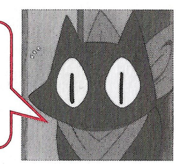
（糸にはたらく力）（おもりにはたらく力）

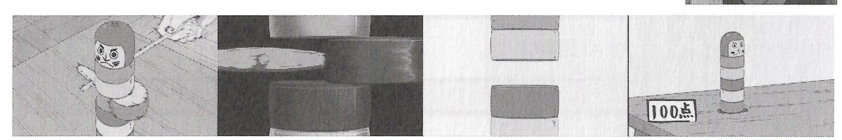
つり合う 2 力の組み合わせは，

● おもりに注目 ➡ $\vec{F_3}$ と $\vec{F_5}$

● 糸に注目 ➡ $\vec{F_1}$ と $\vec{F_4}$

力のつり合いを考えるときは，1 つの物体に注目するんだよ。






慣性の法則

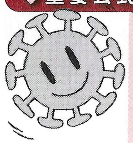




力学で最も重要な公式です！

## 2 運動方程式と単位

**◆重要公式◆**



運動方程式（うんどうほうていしき） $m\vec{a} = \vec{F}$

（$m$：質量，$\vec{a}$：加速度，$\vec{F}$：合力）

重力（じゅうりょく）の大きさ $mg$〔N〕

（$m$：質量，$g$：重力加速度）

### ここがエッセンス！

- **国際単位系（SI）**：m，kg，s，A，K などを**基本単位**とする単位系。SI はこれらの基本単位と，基本単位の乗除によって表される**組立単位**（N，J など）から成り立っている。
- **次元**：一般の物理量が基本的物理量とどのように関係しているかを示す構造のことをいう。基本的物理量は，長さ〔L〕，質量〔M〕，時間〔T〕である。

| 物理量 | 物理法則・定義 | 単位と次元 |
|---|---|---|
| 速　度 | 距離 ÷ 時間 | m ÷ s = m/s<br>$[LT^{-1}]$ |
| 加速度 | 速度変化 ÷ 時間 | (m/s) ÷ s = m/s²<br>$[LT^{-2}]$ |
| 力 | $F = ma$<br>（力 = 質量 × 加速度） | kg × (m/s²) = kg·m/s² = N<br>$[LMT^{-2}]$ |
| 仕　事 | 力 × 距離 | N × m = N·m = J<br>$[L^2MT^{-2}]$ |



運動の第 2 法則は，

$$\vec{a} = k\frac{\vec{F}}{m} \quad (k \text{ は比例定数})$$

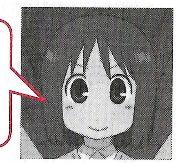
とかける。そこで，$k = 1$ となるような**力の単位〔N〕（ニュートン）を定める**。つまり，〔N〕は，

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow [\mathrm{N}] = [\mathrm{kg}] \times [\mathrm{m/s^2}] = [\mathrm{kg \cdot m/s^2}]$$

と定義される。

運動方程式によれば，$m\vec{a}$ が加速度 $\vec{a}$ を生じさせている力ということになるから，**重力加速度**の大きさを $g$〔m/s²〕とすると，**質量** $m$〔kg〕の物体にはたらく**重力**の大きさは $mg$〔N〕と表される。

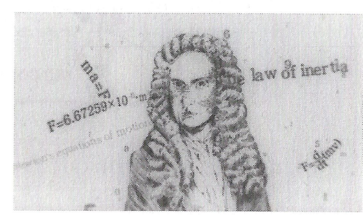
運動方程式の力の単位は〔N〕です。力の単位が〔kgw〕（重量キログラム）で表されている場合は，1〔kgw〕≒ 9.8〔N〕と換算しましょう！



運動方程式は，「力という原因により，その結果物体は加速度運動する」という原因と結果の法則を表しているんだよ。

左辺は結果　$m\vec{a} = \vec{F}$　右辺は原因





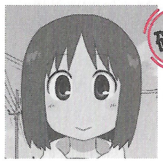
Theme 13

# 運動方程式の立て方

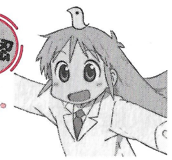


運動方程式を正確に立てるコツを教えます！

## 1 運動方程式を立てる手順



確認 力がはたらくと物体は加速したり減速したりするです。



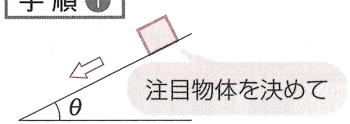
確認 そだよ。力から加速度を求めるのが運動方程式なの。

### よくわかる解説

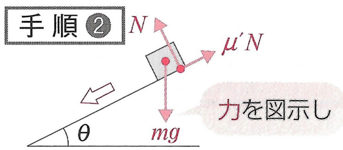
**運動方程式を立てる手順**

❶ 注目物体を決める。
❷ 注目物体が受ける力を図示する。
❸ $xy$ 軸を設定し，$xy$ 成分に分解する。
❹ 公式に代入する。

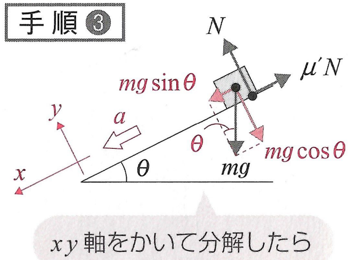
手順❶




手順❷




手順❸




手順❹ 公式に代入

$$\begin{cases} (x)\ ma = mg\sin\theta - \mu' N \\ (y)\ 0 = N - mg\cos\theta \end{cases}$$

$N$ を消去して，

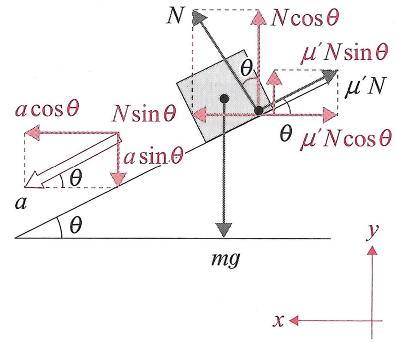
$$ma = mg\sin\theta - \mu' mg\cos\theta$$

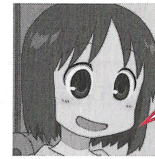
$$\therefore\ a = g(\sin\theta - \mu'\cos\theta)$$



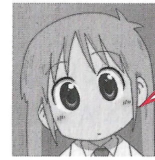


軸の設定のしかたを変えて解いてみよう。



はかせ，これはどうすればいいでしょうか？



左図のように水平方向と鉛直方向に $xy$ 軸を設定してみれば。

**力だけでなく加速度（かそくど）も分解が必要だね。**求める加速度の大きさを $a$ とおくと，$xy$ 成分の大きさはそれぞれ $a\cos\theta$，$a\sin\theta$ だから，$xy$ 成分の正負に注意して公式に代入すると，

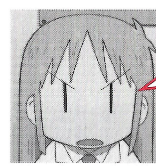
$$\begin{cases} (x)\quad m\cdot(+a\cos\theta) = N\sin\theta - \mu' N\cos\theta \\ (y)\quad m\cdot(-a\sin\theta) = N\cos\theta + \mu' N\sin\theta - mg \end{cases}$$

$$\therefore\ N = mg\cos\theta,$$

$$a = g(\sin\theta - \mu'\cos\theta)$$



このやり方でも解けたけど，ちょっと面倒だな。



軸の設定のしかたを変えても解けるよ～。あとはね，軸の設定のしかたが解きやすさを大きく左右するのだ～。



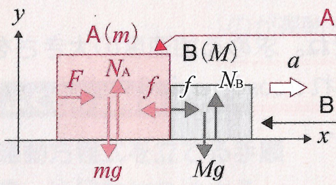



## 2 具体例で学ぶ運動方程式の立て方

**ここがエッセンス！**

**例❶** 互いに力を及ぼし合う 2 物体の運動

図のように，2 物体 A，B を置き，大きさ $F$ の力を A に加えて押す。



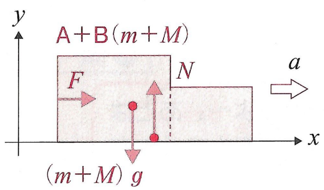

A に注目
$$\begin{cases} (x)\ ma = F - f \quad \cdots\cdots ① \\ (y)\ 0 = N_A - mg \end{cases}$$

B に注目
$$\begin{cases} (x)\ Ma = f \quad \cdots\cdots ② \\ (y)\ 0 = N_B - Mg \end{cases}$$

式① + ②より，$(M+m)a = F$　$\therefore\ a = \dfrac{F}{M+m}$

これより，$f = Ma = \dfrac{MF}{M+m}$

注目物体の決め方を変えてみよう。
2 物体を 1 つと見て式を立ててみよう。




$$\begin{cases} (x)\ (M+m)a = F \\ (y)\ 0 = N - (M+m)g \end{cases}$$

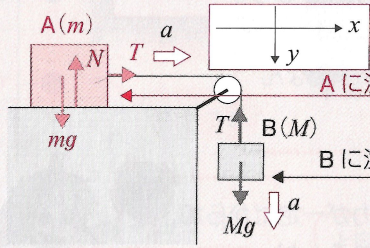





**ここがエッセンス！**

**例❷** 張力を及ぼし合う 2 物体の運動

図のように，2 物体 A，B を糸でつなぎ，滑車にかけて B を下降させる。

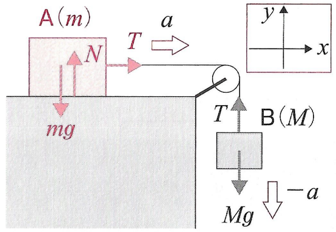



A に注目
$$\begin{cases} (x)\ ma = T \quad \cdots\cdots ① \\ (y)\ 0 = mg - N \end{cases}$$

B に注目
$$(y)\ Ma = Mg - T \quad \cdots\cdots ②$$

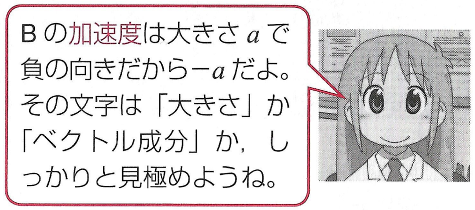
式①，②より，$a = \dfrac{Mg}{M+m}$，　$T = ma = \dfrac{Mmg}{M+m}$

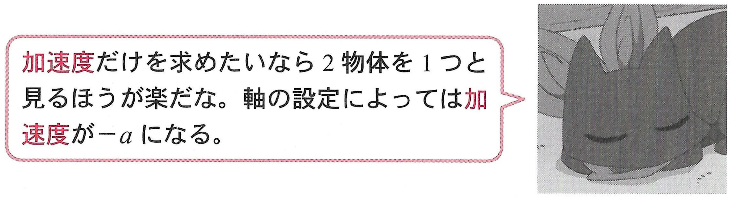
軸のとり方を変えてみよう。
$y$ 軸の正の向きを反対にしてみよう。




A：$\begin{cases} (x)\ ma = T \\ (y)\ 0 = N - mg \end{cases}$

B：$(y)\ M\cdot(-a) = T - Mg$

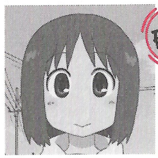


Theme 14
# 落体運動




## 1 自由落下運動



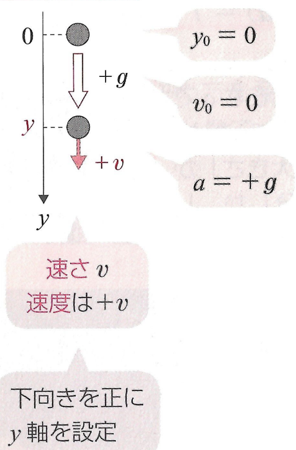




**問題**

重力加速度の大きさを $g$ とする。
自由落下を始めた物体の $t$ 秒後の速さ $v$ と落下距離 $y$ を求めよ。

**解答・解説**




**等加速度運動を解く手順**

❶ 座標軸の設定
❷ $x_0$，$v_0$，$a$ の準備
❸ 公式に代入

公式 $v = v_0 + at$ より，

$$+v = 0 + (+g)t$$

$$\therefore\ v = gt \quad \cdots 答$$

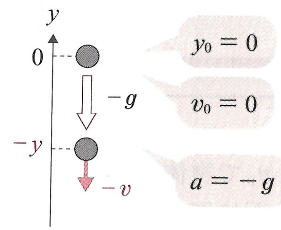
公式 $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ より，

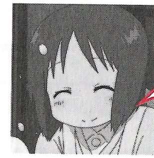
$$y = 0 + 0 \times t + \frac{1}{2} \times (+g) \times t^2$$

$$\therefore\ y = \frac{1}{2}gt^2 \quad \cdots 答$$



上，下，どちらを座標軸の正の向きに決めてもよい。ここでは上向きを正にとって解くとどうなるかやってみるよ。

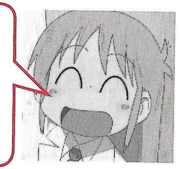



公式 $v = v_0 + at$ より，

$$\boxed{-v} = 0 + (\boxed{-g})t$$

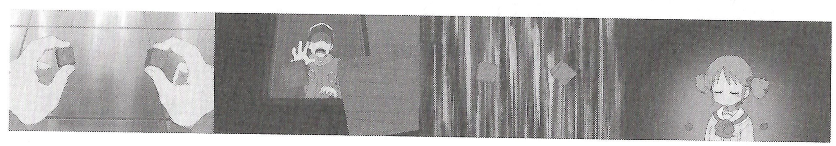
$$\therefore\ v = gt \quad \cdots 答$$



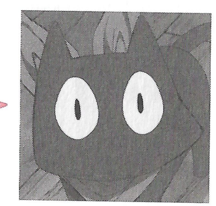

公式 $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ より，

$$\boxed{-y} = 0 + 0 \times t + \frac{1}{2} \times (\boxed{-g}) \times t^2$$

$$\therefore\ y = \frac{1}{2}gt^2 \quad \cdots 答$$



自由落下運動



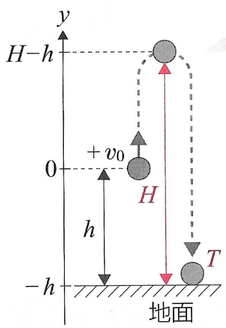
## 2 鉛直投げ上げ運動




**問題**

重力加速度の大きさを $g$ とする。
時刻 $t=0$ に地上より高さ $h$ の点から速さ $v_0$ で物体を真上に投げ上げた。最高点の地上からの高さ $H$ と地面に衝突する時刻 $T$ を求めよ。

**解答・解説**




$y_0=0$ となるように $y$ 軸を設定してみよう！

上向きを正にとると，
初速度：$+v_0$
加速度：$-g$

**最高点は速度 0 。**
公式 $v^2-v_0{}^2=2a\Delta x$ より，

$$0^2-(+v_0)^2=2\times(-g)\times(H-h)$$

$$\therefore\quad H=h+\frac{v_0{}^2}{2g}\quad\cdots 答$$

**地面は $y=-h$ 。**
公式 $x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$ より，

$$-h=0+(+v_0)\times T+\frac{1}{2}\times(-g)\times T^2$$

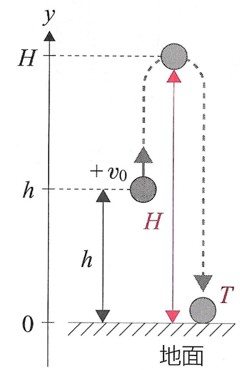
$T>0$ だから，

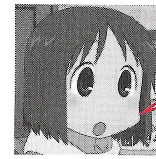
$$T=\frac{v_0+\sqrt{v_0{}^2+2gh}}{g}\quad\cdots 答$$





座標軸の原点はどこに設定しても構わない。ここでは地面を原点にとって解くとどうなるかやってみるよ。



とりあえず，座標軸をかいてみました。はかせ，ここからどうすればいいんですか？



地面が $y=0$ だから初期座標が $y_0=h$ になるね〜！

最高点は速度 0 。
公式 $v^2-v_0{}^2=2a\Delta x$ より，

$$0^2-(+v_0)^2=2\times(-g)\times(H-h)$$

$$\therefore\quad H=h+\frac{v_0{}^2}{2g}\quad\cdots 答$$

**地面は $y=0$ 。**
公式 $x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$ より，

$$0=h+(+v_0)\times T+\frac{1}{2}\times(-g)\times T^2$$

$T>0$ だから，

$$T=\frac{v_0+\sqrt{v_0{}^2+2gh}}{g}\quad\cdots 答$$

この本では「ベクトル成分の代入」を強調するために，$0=h+(+v_0)\times T+\frac{1}{2}\times(-g)\times T^2$ と書いているが，試験では $0=h+v_0T-\frac{1}{2}gT^2$ と書けばいいのだ。



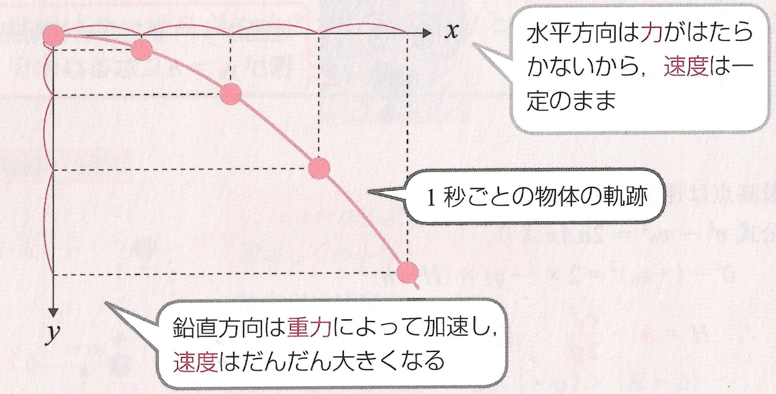




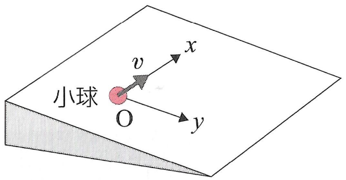

## 3 水平投射

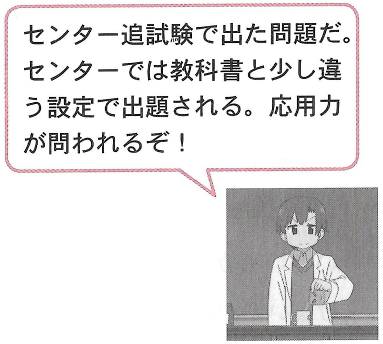
**ここがエッセンス！**

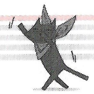
● **水平投射**




❶ 水平方向は**等速直線運動**(とうそくちょくせんうんどう)と同じ。
❷ 鉛直方向は**自由落下運動**(じゆうらっかうんどう)と同じ。
❸ 投げ出した点を頂点とする放物線軌道を描く。

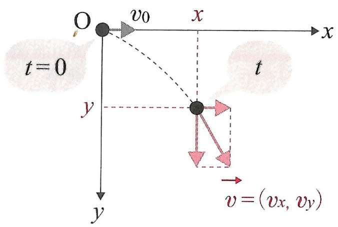


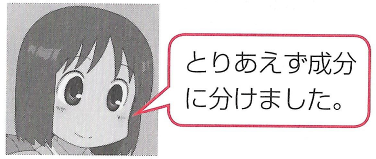





**発展** 教科書では発展的扱いだが，きちんと数式で計算してみよう。$xy$ 成分に分けて，等加速度運動(とうかそくどうんどう)を解く手順を使うだけだよ。

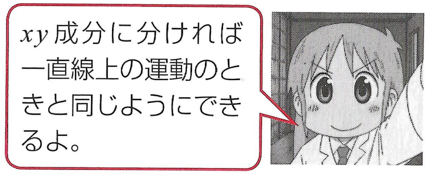



初期座標 $(x_0,\ y_0)=(0,\ 0)$
初速度 $\vec{v_0}=(+v_0,\ 0)$
加速度 $\vec{a}=(0,\ +g)$




公式 $v=v_0+at$ より，

$$\begin{cases} v_x = +v_0 + 0\cdot t \\ v_y = 0 + (+g)\,t \end{cases}$$




公式 $x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$ より，




$$\begin{cases} x = 0 + (+v_0)\,t + \frac{1}{2}\cdot 0\cdot t^2 \\ y = 0 + 0\cdot t + \frac{1}{2}\cdot(+g)\cdot t^2 \end{cases}$$

以上より，

速度：$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = gt \end{cases}$

位置：$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$ $\xrightarrow{t\text{ 消去}}$ $y=\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0}\right)^2$





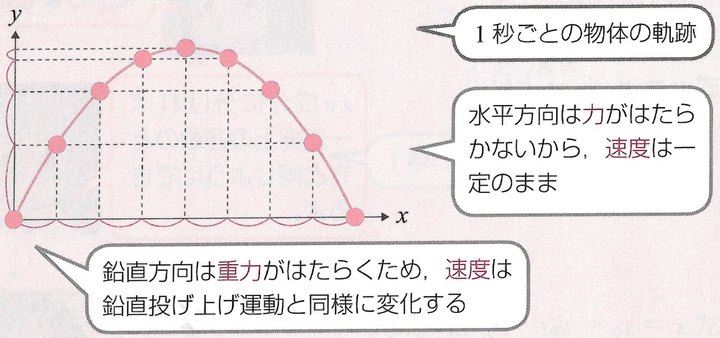




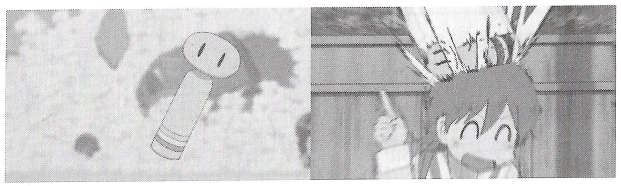
## 4 斜方投射

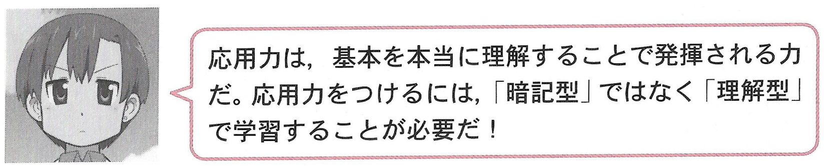
### ここがエッセンス！

● **斜方投射**



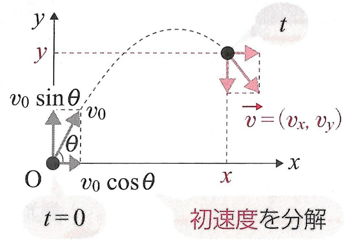

1. 水平方向は**等速直線運動**（とうそくちょくせん）と同じ。
2. 鉛直方向は**鉛直投げ上げ運動**と同じ。
3. 最高点を頂点とする放物線軌道を描く。








**発展** 水平投射と同様に，斜方投射された物体の時刻 $t$ における位置と速度を計算してみよう。




初期座標 $(x_0,\ y_0) = (0,\ 0)$
初速度 $\vec{v_0} = (+v_0\cos\theta,\ +v_0\sin\theta)$
加速度 $\vec{a} = (0,\ -g)$

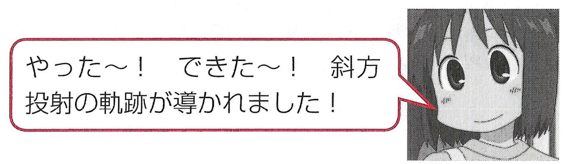
公式 $v = v_0 + at$ より，$\begin{cases} v_x = +v_0\cos\theta + 0 \cdot t \\ v_y = +v_0\sin\theta + (-g)\,t \end{cases}$

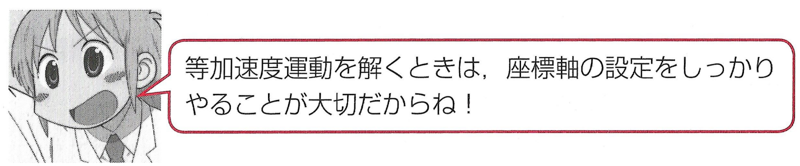
公式 $x = x_0 + v_0 t + \dfrac{1}{2}at^2$ より，$\begin{cases} x = 0 + (+v_0\cos\theta)\,t + \dfrac{1}{2} \cdot 0 \cdot t^2 \\ y = 0 + (+v_0\sin\theta)\,t + \dfrac{1}{2} \cdot (-g) \cdot t^2 \end{cases}$

以上より，

速度：$\begin{cases} v_x = v_0\cos\theta \\ v_y = v_0\sin\theta - gt \end{cases}$

位置：$\begin{cases} x = v_0\cos\theta \cdot t \\ y = v_0\sin\theta \cdot t - \dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$ $\xrightarrow{t\text{ 消去}}$ $y = \tan\theta \cdot x - \dfrac{1}{2}g\left(\dfrac{x}{v_0\cos\theta}\right)^2$

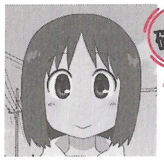


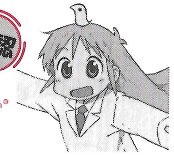



Theme 15 仕　事




## 1 仕　事

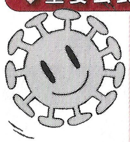



**ここがエッセンス！**

- **仕事**：物体が力の作用を受けながら変位（へんい）するとき，その力は物体に仕事をしたという。スカラー
  単位　〔J〕（ジュール）（＝〔N·m〕＝〔kg·m$^2$/s$^2$〕）

**◆重要公式◆**

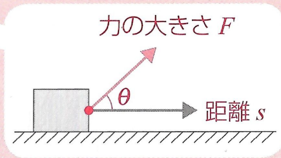


仕事　$W = Fs\cos\theta$

① $\theta = 0°$ ➡ $W = Fs$

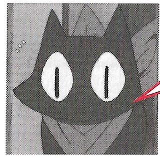
② $\theta = 90°$ ➡ $W = 0$

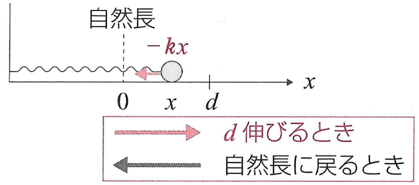
③ $\theta = 180°$ ➡ $W = -Fs$

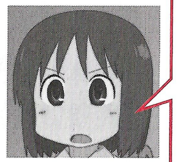




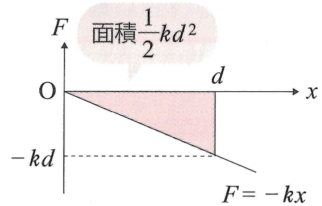

前ページの仕事の公式 $W = Fs\cos\theta$ は力が一定の場合しか使えない。**力が一定でない場合は，$F$－$x$ グラフの面積を利用して仕事を求めるんだ。**弾性力の場合で仕事の求め方を説明しよう。




**手 順 ❶**　グラフの面積から仕事の絶対値を求める。







**手 順 ❷**　力と変位の向きから仕事の正負を調べる。

力と変位が同じ向き ➡ $W > 0$

力と変位が反対向き ➡ $W < 0$

以上より，弾性力のする仕事 $W$ は，

**○ $d$ 伸びるとき**

大きさ：$\frac{1}{2}kd^2$　　符号：負 ➡ $W = -\frac{1}{2}kd^2$

**○ 自然長に戻るとき**

大きさ：$\frac{1}{2}kd^2$　　符号：正 ➡ $W = +\frac{1}{2}kd^2$



道具を使っても
仕事は減らない
ものなんですね。

## 2 仕事の原理と仕事率

**ここがエッセンス！**

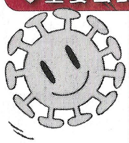
● **仕事の原理**

道具を利用して物体を動かす仕事をしても，力を小さくできる反面，動かす距離は大きくなり，仕事を減らすことはできない。

● 仕事率：単位時間あたりの仕事。

単位 〔W〕（ワット）（＝〔J/s〕）

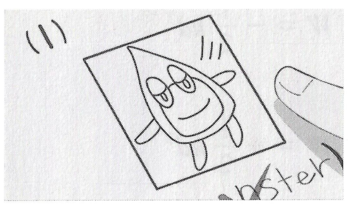
**◆重要公式◆**



仕事率　$P = \frac{W}{t} = Fv$

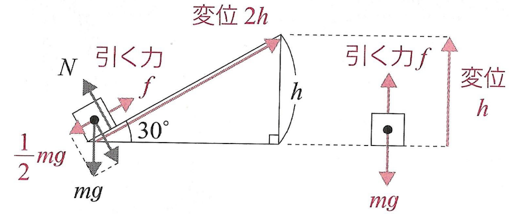
$W = Fs$ の場合は

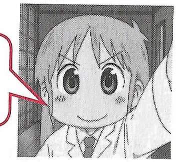
$\frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv$





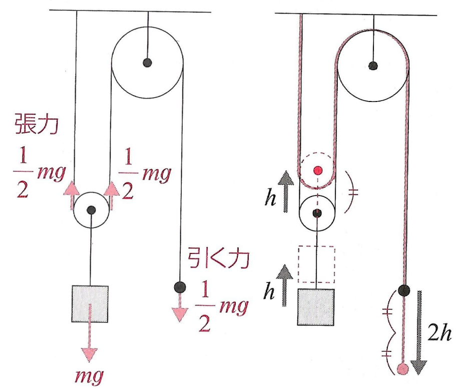
斜面を利用して物体を持ち上げる仕事の量と，まっすぐ物体を持ち上げる仕事の量を比較してみよう。



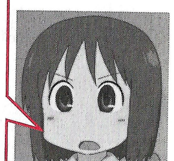



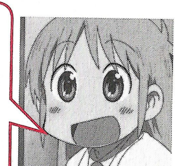
斜面を利用すると力は半分になるけど，距離が 2 倍だから仕事の量は $mgh$ で同じだね。

動滑車を使っても，力は半分にできるが，距離が 2 倍になるため，仕事の量は変わらないことを確かめてみよう。




動滑車を利用すると，引く力は$\frac{1}{2}mg$でいいけれど，$h$ 持ち上げるには $2h$ 引き下げないといけない！





動滑車を使っても仕事の量は

$\frac{1}{2}mg \times 2h = mgh$

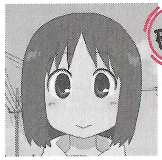
動滑車を使わない場合と変わらないんだよ。

Theme 16

# 運動エネルギー

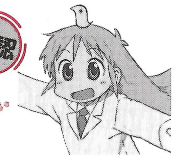
運動方程式を変形すると……





確認 エネルギーって何ですか？

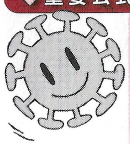
確認 エネルギーはどのくらい仕事できるかという仕事の能力を表す量だよ。



## ここがエッセンス！

- **エネルギー**：仕事をする能力。スカラー
- **運動エネルギー**：運動する物体がもつエネルギー。
  単位　〔J〕（＝〔N·m〕＝〔kg·m$^2$/s$^2$〕）

## ◆重要公式◆



質量　　速さの２乗

運動エネルギー　$\dfrac{1}{2}mv^2$

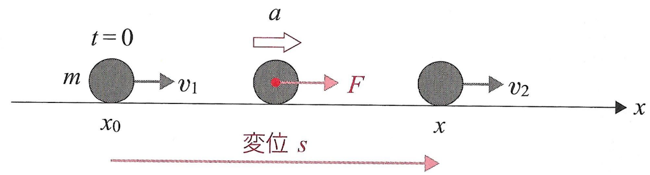
運動エネルギーと仕事の関係

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = W$$

運動エネルギーの変化　　力のした仕事の総和



運動方程式（うんどうほうていしき）$ma = F$ からは，直接速さを求めることができないね。いろいろな運動について，速さを簡単に求められるように，運動方程式を変形してみよう。まずは，**$x$ 軸上の等加速度（とうかそくど）運動（うんどう）**で考えてみよう。



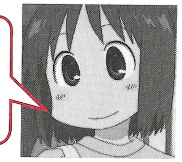

$$ma = F$$

$$m\frac{v_2^2 - v_1^2}{2s} = F$$

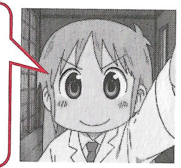
$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = Fs$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = W$$

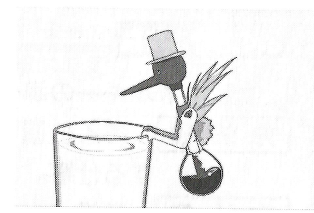
等加速度運動の公式 $v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$ を用いてみました。



運動エネルギーの変化は力のした仕事に等しいという関係が導かれるね〜。



実は，この関係は，**力が一定でない場合や，一直線上でない場合でも成り立つ**んだよ。





**運動エネルギーに向きはない。どっち向きに運動していても，運動エネルギーは「速さ」だけで決まる量だ。負の向きに運動していても，運動エネルギーは 0 以上の値をとると考えてよいぞ。**

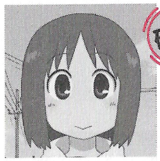
Theme 17

# 位置エネルギー

保存力って何ですか？

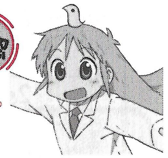


## 1 保 存 力



確認 位置エネルギーって，高い所にある物体がもつエネルギーですね。

確認 そう。それを重力による位置エネルギーというよ。



### ここがエッセンス！

● 保存力（ほぞんりょく）：物体が移動するとき，物体にはたらく力のする仕事が途中の経路に関係なく，始点と終点の位置だけで決まるとき，その力を保存力という。

例 重力（じゅうりょく），弾性力（だんせいりょく）

### よくわかる解説

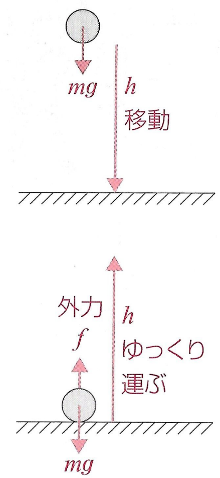
位置エネルギーの導き方

方法❶ ある位置から基準点まで移動するときに保存力のする仕事。

方法❷ 基準点からある位置まで物体をゆっくり運ぶときに外力（保存力に逆らう力）のする仕事。

それでは，重力による位置エネルギーの公式を上の 2 通りの方法で導いてみよう。





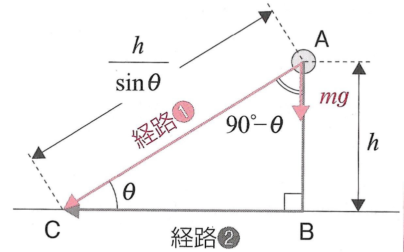

方法❶

高さ $h$ から地面（基準点）まで物体が移動するとき，重力（保存力）のする仕事は $mgh$ である。

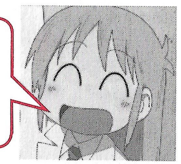
方法❷

地面から高さ $h$ まで外力（大きさ $f$）でつりあげてゆっくり運ぶ。このとき外力のする仕事は，$fh = mgh$ である。

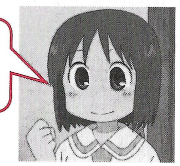
物体が移動するときの重力の仕事を，下の経路❶，経路❷の 2 通りの場合について計算してみよう。




仕事の定義
$W = Fs\cos\theta$
を使ったよ。



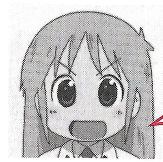
AB 間の仕事は $mgh$
BC 間の仕事は 0 です。



経路❶ $mg \cdot \dfrac{h}{\sin\theta} \cdot \cos(90° - \theta)$

$= mgh$

経路❷ $mgh + 0 = mgh$



重力のする仕事は経路によらず $mgh$ なのだ。
➡高さ $h$ にある物体は $mgh$ の仕事の能力をもつ。
➡高さ $h$ にある物体は $mgh$ の位置エネルギーをもつ。
こうやって位置エネルギーが導かれるんだよ。

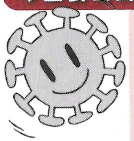



## 2 位置エネルギー

**ここがエッセンス！**

- **位置エネルギー**：物体がある位置で決まるエネルギー。物体が点 A から基準点 O まで移動するときに保存力（ほぞんりょく）のする仕事を，点 O を基準とした点 A における物体の位置エネルギーという。

  単位　〔J〕（＝〔N·m〕＝〔kg·m²/s²〕）



**◆重要公式◆**

重力（じゅうりょく）による位置エネルギー　$U = mgh$

（基準点は任意）　基準点からの高さ

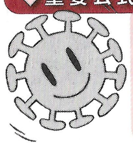
注　基準点より高いときは $h > 0$，低いときは $h < 0$

伸び（縮み）の 2 乗

弾性力（だんせいりょく）による位置エネルギー　$U = \dfrac{1}{2}kx^2$

（基準点は自然長）　弾性エネルギーともいう

位置エネルギーを定義すると，保存力の仕事が次のように簡単に計算できるよ。



**◆重要公式◆**

移動前の位置エネルギー　移動後の位置エネルギー

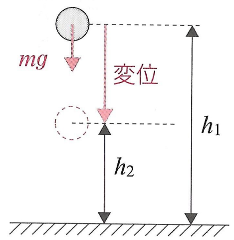
$$〔\text{保存力の仕事}〕 = U_{前} - U_{後}$$

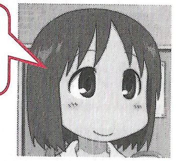


$$〔\text{保存力の仕事}〕 = U_{前} - U_{後}$$

この関係を具体例で確認してみよう。

**例❶ 物体の落下運動**

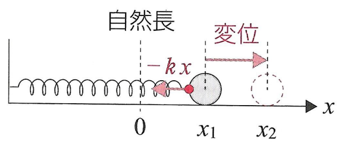


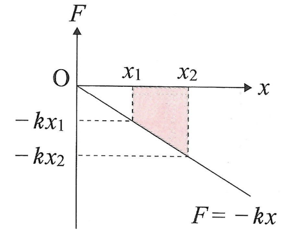




重力の仕事

$$= mg \cdot (h_1 - h_2) \cdot \cos 0$$
$$= mgh_1 - mgh_2$$
$$= U_{前} - U_{後}$$

**例❷ ばねを伸ばす物体の運動**

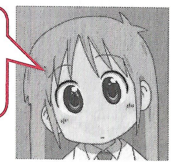



力と変位が逆向きだから仕事は負

弾性力の仕事

$$= -\left(\frac{1}{2}kx_2{}^2 - \frac{1}{2}kx_1{}^2\right)$$
$$= \frac{1}{2}kx_1{}^2 - \frac{1}{2}kx_2{}^2$$
$$= U_{前} - U_{後}$$





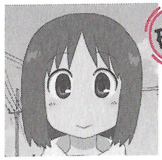

Theme 18

# 力学的エネルギー

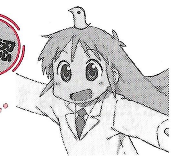


運動方程式を変形すると……

## 1 力学的エネルギーと仕事



確認 摩擦力がはたらくときは力学的エネルギーが減ってしまうね。

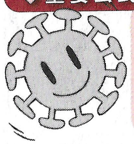


確認 そうだね。減った分は摩擦熱のエネルギーに変わるんだよ。

**ここがエッセンス!**

● **力学的エネルギー**：運動エネルギーと位置エネルギーの和。

◆重要公式◆



**[力学的エネルギーの変化] ＝ [非保存力(ひほぞんりょく)の仕事]**

**よくわかる解説**

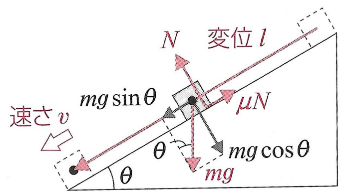
**運動エネルギー変化 ＝ 仕事**

**力学的エネルギー変化**

**＝ 非保存力の仕事**

この2つの公式をしっかり区別しよう。

物体が摩擦のある斜面をすべる運動について，2つの公式を使って式を立ててみよう。





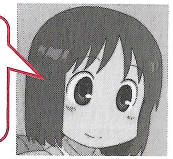

「力学的エネルギーの変化 ＝ 非保存力の仕事」の公式を使うと，

$$\frac{1}{2}mv^2 - mgl\sin\theta = -\mu mg\cos\theta\cdot l$$

「運動エネルギーの変化 ＝ 仕事」の公式を使うと，

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgl\sin\theta - \mu mg\cos\theta\cdot l$$

となるよ。



運動エネルギーの変化は力のした仕事に等しいです。

運動方程式を変形することで，

$$\frac{1}{2}mv_2{}^2 - \frac{1}{2}mv_1{}^2 = W \quad \cdots\cdots①$$

という関係を得たね。ここでは，この式をさらに変形していくよ。

まず，$W$ は力のする仕事の総和だったから，

$W$ ＝ [保存力の仕事] ＋ [非保存力の仕事]

と書いてもいいね。ここで，

[保存力の仕事] ＝ $U_{前} - U_{後}$



添字を①に合わせて1，2にしたよ。

という関係を使うと，

$W = U_{前} - U_{後}$ ＋ [非保存力の仕事]

$\quad = U_1 - U_2$ ＋ [非保存力の仕事]

と書けるから，これを式①に代入すると，

$\frac{1}{2}mv_2{}^2 - \frac{1}{2}mv_1{}^2 = U_1 - U_2$ ＋ [非保存力の仕事]

となる。これを整理すると，

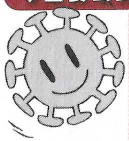
$\left(\frac{1}{2}mv_2{}^2 + U_2\right) - \left(\frac{1}{2}mv_1{}^2 + U_1\right)$ ＝ [非保存力の仕事] ……②

と書けるね。式②は，力学的エネルギーの変化が非保存力の仕事に等しいことを表しているよ。




## 2 力学的エネルギー保存の法則

◆重要公式◆



力学的エネルギー保存の法則

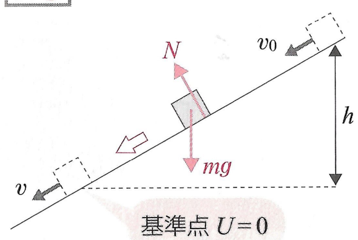
$$\frac{1}{2}mv_2^2 + U_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + U_1$$

**成立条件** ➡ 保存力のみ仕事をする

### よくわかる解説

力学的エネルギー保存の法則が使えるのは，保存力のみが仕事をするときだよ。

例① なめらかな斜面をすべる物体



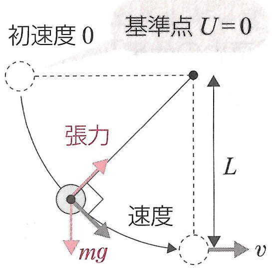

**垂直抗力は仕事しない**

➡ 仕事するのは重力だけ

➡ 保存則が成立

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

例② 振り子運動する物体




**糸の張力は仕事しない**

➡ 仕事するのは重力だけ

➡ 保存則が成立

$$0 = \frac{1}{2}mv^2 - mgL$$

張力は速度（変位方向）に常に垂直だから仕事をしない

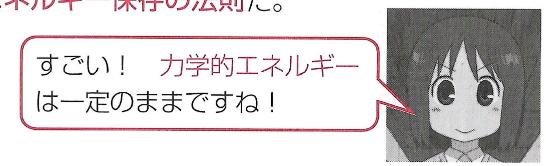


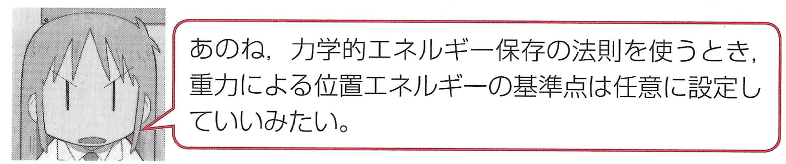
たとえば，摩擦のない斜面をすべる物体の運動では，仕事をする力は重力だけだから，69ページの式②の右辺は0になるね。このように，**重力，弾性力のみ（保存力のみ）が仕事するときは**，②より，

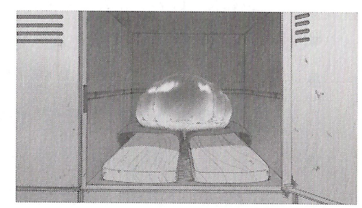
$$\left(\frac{1}{2}mv_2^2 + U_2\right) - \left(\frac{1}{2}mv_1^2 + U_1\right) = 0$$

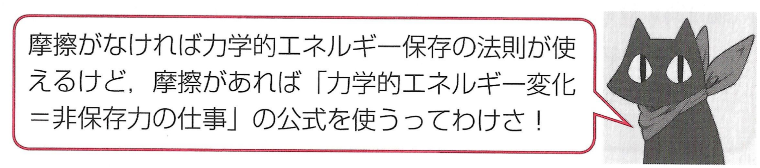
$$\frac{1}{2}mv_2^2 + U_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + U_1$$

となる。これが力学的エネルギー保存の法則だ。







# 第２章　様々な物理現象とエネルギーの利用

時定高校編

## Theme 19　熱と温度




### 1　温　　度



確認　温度が上がると固体は液体に，液体は気体になるんだったっけ？

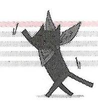


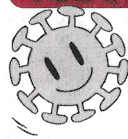
確認　固体，液体，気体を物質の三態っていうんだよ。

**ここがエッセンス！**

- **熱運動**（ねつうんどう）：物質を構成している多数の粒子はつねに不規則な運動をしている。この運動は，いろいろな熱現象を起こすもとになるため熱運動といわれる。
- **温度**：熱運動の激しさを表す量。
- **セルシウス温度**：１気圧で水が氷になる温度を０℃，沸騰（ふっとう）する温度を100℃と定めた温度。
- **絶対零度**（ぜったいれいど）：熱運動が停止する温度。**−273.15℃**
  これより低い温度は存在しない。
- **絶対温度**：絶対零度を基準とし，温度差１度がセルシウス温度と等しくなるように定めた温度。
  単位　〔K〕（ケルビン）



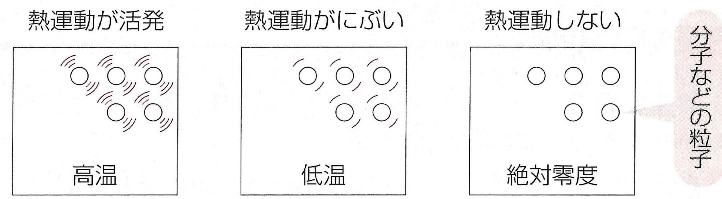


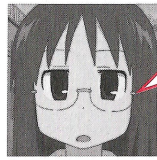


◆重要公式◆

絶対温度 $T$〔K〕とセルシウス温度 $t$〔℃〕の関係

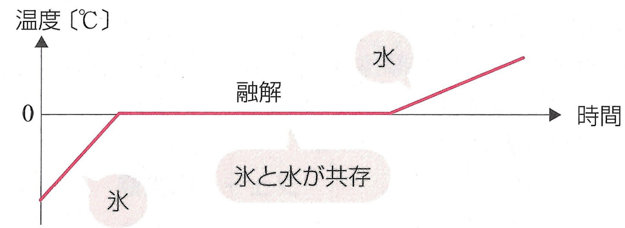
$$T = t + 273.15$$



温度の違いは熱運動の激しさの違い。

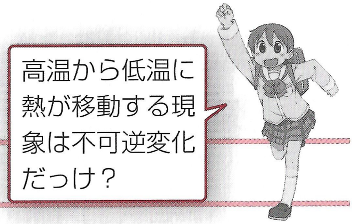
氷に一定の割合で熱を与えて，氷を溶かして水にするときの温度変化は下のグラフのようになる。






氷１gを融解（ゆうかい）させるのに要する熱量を**融解熱**という。融解熱，蒸発熱のように，温度変化しないで状態変化するときに吸収する熱量を**潜熱**（せんねつ）という。






## 2 熱

### ここがエッセンス！

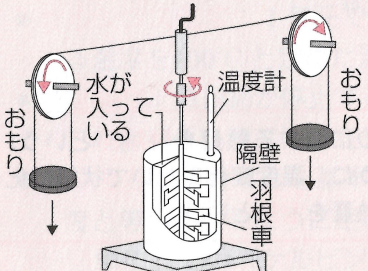
- **熱**：熱運動のエネルギーが物体 A から物体 B に移動したとき，A から B へ熱が移動したという。
- **熱量**：移動した熱の量。　単位　〔J〕（1〔cal〕≒ 4.19〔J〕）
- **不可逆変化**（ふかぎゃくへんか）：外部から何らかの操作をしない限り，初めの状態に戻すことができない変化。一方，振り子運動のように初めの状態に戻るような変化を可逆変化という。

  例　暖かい部屋に置いた氷が，熱を吸収し，とけて水になる現象は，逆に，水が熱を放出して氷に戻ることはないため不可逆変化である。

- **熱と仕事**

  ① ジュールの実験により，1〔cal〕≒ 4.19〔J〕であることが確かめられた。

  ② 運動する物体に摩擦力（まさつりょく）が仕事すると，物体の力学的エネルギーは減少する。その減少分は摩擦熱のエネルギーに変換されている。

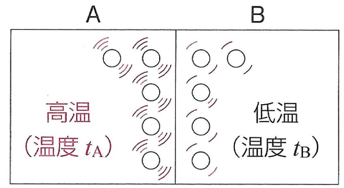


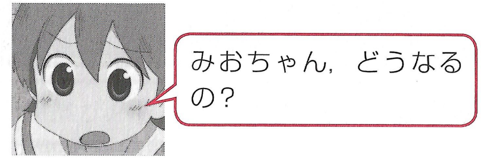

**ジュールの実験**

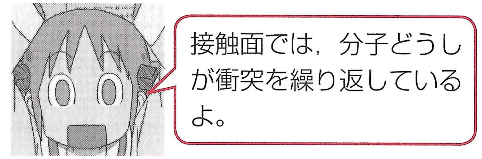
おもりを落下させて羽根車を回す仕事 $W$〔J〕と羽根車と水の摩擦で生じた熱量 $Q$〔cal〕の間に $W = 4.19Q$ の関係が成り立つことをつきとめた。



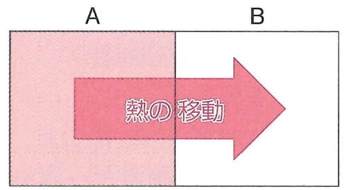
高温物体 A と低温物体 B を接触させてみよう。



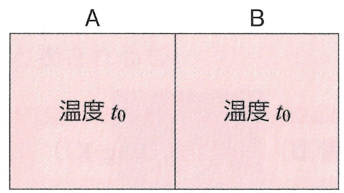

物体 A ➡ 熱運動がにぶくなる ➡ 温度が下がる
物体 B ➡ 熱運動が活発になる ➡ 温度が上がる

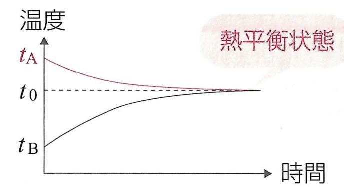






最後には A と B の温度が等しくなる。
この状態を**熱平衡状態**（ねつへいこうじょうたい）という。



Theme 20

# 比熱と熱容量

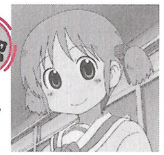


比熱って
何を意味する
最上川

## 1 比熱と熱容量



確認 水の比熱っていくらだったっけ？



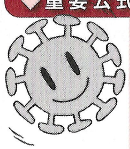
確認 カロリーの単位を使うと 1 cal/(g·K)，
ジュールを使うと 4.2 J/(g·K)だよ

### ここがエッセンス！

● 比熱（ひねつ）：物質 1 g を 1 K だけ温度上昇させるのに必要な熱量。
単位 〔J/(g·K)〕(ジュール毎グラム毎ケルビン)
温まりにくい物質は，たくさん熱を加えないと温度が上がらないから，1 g を 1 K 上昇させるのに要する熱量が，温まりやすい物質に比べて大きい。つまり，**温まりにくい物質は比熱が大きい。**

● 熱容量（ねつようりょう）：ある物体を 1 K だけ温度上昇させるのに必要な熱量。
単位 〔J/K〕(ジュール毎ケルビン)

### ◆重要公式◆



比熱 $c = \dfrac{Q}{m\Delta T}$ ➡ 熱量 $Q = mc\Delta T$

熱量〔J〕　比熱〔J/(g·K)〕　質量〔g〕　温度変化〔K〕

熱容量 $C = mc$



比熱，熱容量の定義から，公式を導いてみよう。

まずは熱容量から見ていこう。熱容量の定義は，**ある物体を 1 K だけ温度上昇させるのに必要な熱量**だったね。それを $C$ とすると，

1 K 上昇させる ➡ $C$ の熱量が必要
2 K 上昇させる ➡ $2C$ の熱量が必要
⋮
$\Delta T$〔K〕上昇させる ➡ $C\Delta T$ の熱量が必要

ということで，次式が成り立つね。

$Q = C\Delta T$



**熱容量の定義，比熱の定義を言葉で説明できるようになるのだ！**

さて，次は比熱だ。比熱の定義は，**物質 1 g を 1 K だけ温度上昇させるのに必要な熱量**だったね。ということは，物体の質量が $m$〔g〕だったら，

$mc = C$

が成り立つから，

$Q = C\Delta T = mc\Delta T$

と表されるね。



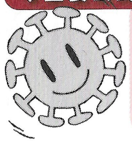
定義をしっかり覚える！　公式を自分で導く！
これが物理上達の秘訣！　なんつって。

熱に関するエネルギー保存則だよ！



## 2 熱量の保存

◆重要公式◆

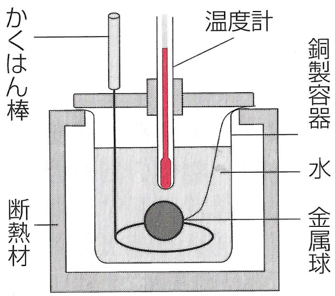


熱量の保存

**高温物体が失った熱量 ＝ 低温物体が得た熱量**

### よくわかる解説

比熱（ひねつ）の測定実験について説明しておこう。




**手 順 ①**

容器に水を入れて温度を測定する（温度 $t_1$）。

**手 順 ②**

加熱した比熱のわからない金属球（温度 $t_2$）を入れる。

**手 順 ③**

一定になった水温を測定する（温度 $t_3$）。

このとき，熱量の保存より，

**銅製容器と水**が得た熱量 ＝ **金属球**の失った熱量

水の熱容量　　金属球の質量

$$C_{銅}(t_3 - t_1) + C_{水}(t_3 - t_1) = mc(t_2 - t_3)$$

銅製容器の熱容量　　金属球の比熱

$C_{銅}$，$C_{水}$，$m$ の値はわかっているから，この関係から金属球の比熱 $c$ が求められるんだよ。



比熱の測定実験について，具体的な数値を代入して比熱を計算してみよう。

**数値**　銅製容器の熱容量：80 J/K

水の質量：100 g

水の比熱：4.2 J/(g·K)　　1〔cal〕≒ 4.2〔J〕だから

金属球の質量：100 g

温度：$t_1 = 20$°C，$t_2 = 90$°C，$t_3 = 25$°C

熱量の保存より，

$$80(25-20) + 100 \times 4.2(25-20) = 100c(90-25)$$

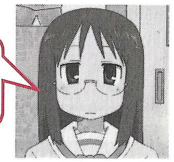
（銅製容器）$C\Delta T$　（水）$mc\Delta T$　（金属球）$mc\Delta T$

$$(80 + 100 \times 4.2)(25 - 20) = 100c(90-25)$$

銅製容器と水を合わせた全体の熱容量を表す

$$\therefore\ c = \frac{5}{13} \fallingdotseq 0.38\ [\mathrm{J/(g\cdot K)}]$$

金属は温まりやすいから比熱は小さい。



**物質の比熱は問題の中で与えられるので覚えなくていいが，水は約 4.2 J/(g·K)，多くの金属は 1 J/(g·K) 未満という知識はあったほうがいいな。**



Theme 21

# 波の基本式




## 1 波とは何か？



確認 音が波として伝わるのは中学で習ったよね。

確認 ここでは波とは何かについて学習していくよ。

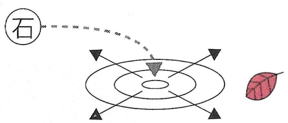


### ここがエッセンス！

- 波：ある部分での振動が次々に隣の部分に伝わっていく現象。
- 媒質(ばいしつ)：波を伝える物質。媒質は波とともには進まず，上下に振動するだけである。
- 変位(へんい)：各点のつり合いの位置からのずれ。

### よくわかる解説

水面に石を投げると同心円状に波が広がっていく。このとき水面に浮かぶ木の葉の動きに注目してみよう。木の葉はどのような動きをするだろうか。



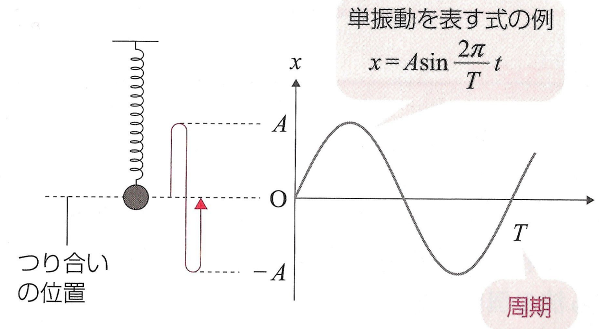

木の葉は波とともには進まず，上下に振動するだけだよ！

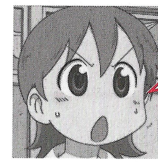
木の葉の動きから，**媒質（水）が移動することなく，波源の振動が隣へ隣へと伝わる現象が波であることがわかる。**





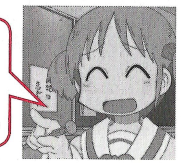
発展 変位 $x$ と時刻 $t$ の関係（$x$ - $t$ グラフ）が正弦曲線(せいげんきょくせん)で表される振動を単振動(たんしんどう)という。波の問題では波源が単振動する場合がほとんどだ。ここでは，単振動の代表例である「ばねにつるされたおもりの振動」で単振動について解説するよ。



どこに注目するの？

それはね，単振動はつり合いの位置が振動中心になるんだよ。



ばねが振動すると，変位 $x$ がグラフのように変化するよね。これを式で表すと，$x = A\sin\frac{2\pi}{T}t$ と表されるんだ。単振動では周期 $T$ の間に角度が $2\pi$（360°）進むから，単位時間あたり進む角度は $\frac{2\pi}{T}$，時間 $t$ の間に進む角度は $\frac{2\pi}{T}t$ と表されるんだよ。

また，角度 $\frac{2\pi}{T}t$ のことを位相(いそう)と呼ぶんだけど，位相については85ページにある同位相(どういそう)と逆位相(ぎゃくいそう)の用語を覚えておこう。

**正弦曲線は「数学Ⅱ」の三角関数で学習するはずだ。単振動については「物理基礎」の次に学習する「物理」で詳しく扱うことになっているよ。**



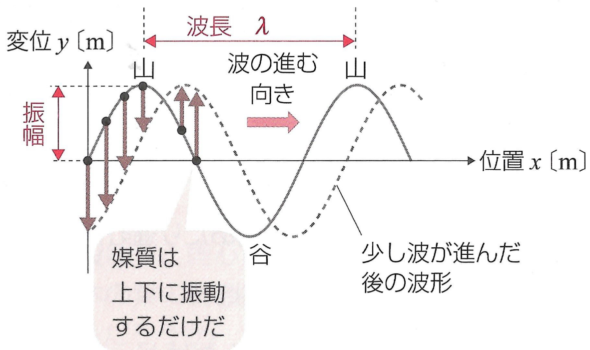




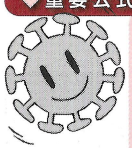

## 2 波の基本式

**ここがエッセンス！**

- **波長**（はちょう）：波１つ分の長さ。
- **波の速さ**：山や谷が進む速さ。
- **振幅**（しんぷく）：山の高さ（谷の深さ）。
- **振動数**（しんどうすう）：１秒あたりの振動回数。波源の振動数は**１秒間に発生する波の個数**に等しい。
- **周期**（しゅうき）：１回振動するのにかかる時間。波の周期とは媒質の振動の周期のこと。




**◆重要公式◆**



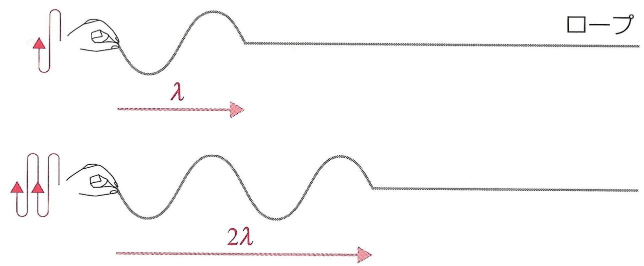
振動数と周期の関係 $f = \dfrac{1}{T}$　（振動数〔Hz〕，周期〔s〕）

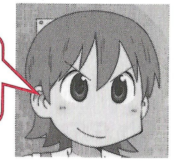
波の速さ $v = f\lambda$　（速さ〔m/s〕，振動数〔Hz〕，波長〔m〕）



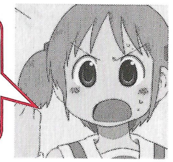
公式 $v = f\lambda$ を導いてみよう！

ロープの端を振動させて，１秒間に波がいくら進むかを調べれば，波の速さを求めることができるね。波は１回振動するごとに波長 $\lambda$ だけ進むから，振動数を $f$ とすると，１秒間に波は $f\lambda$ 進む。これで $v = f\lambda$ が成り立つことがわかったね。



ロープを１回振動させると波は $\lambda$ 進み，２回振動させれば $2\lambda$ 進むみたいだね。



振動数は１秒あたりの振動回数なの！　だから，１秒間に $f$ 回振動させると波は $f\lambda$ 進むから，波の速さ $v$ は，$v = f\lambda$ と表されるのよ。



**波は，マクロな視点で見れば「山や谷の移動」だが，ミクロな視点で見れば「媒質の各点が上下振動しているだけ」だ。この２つの視点をうまく使いこなすことが波を得意にする秘訣だ！**

# Theme 22 波を表すグラフ




## 1 $y-x$ グラフ



確認 波のグラフって波を写真に撮ったときの波形でしょ？　ハッケヨウイ。なんつって。

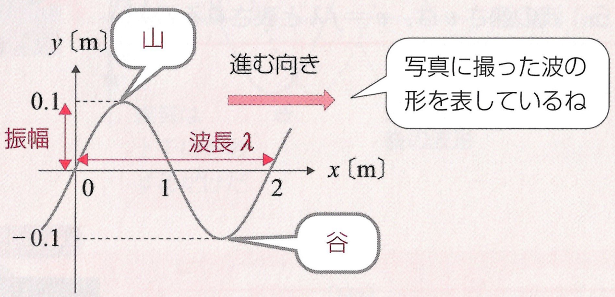
確認 それだけじゃないんだよ。波のグラフは2種類あるんだよ。もう～，ゆっこったら。



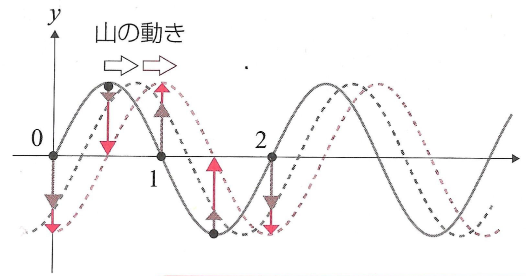
### ここがエッセンス！

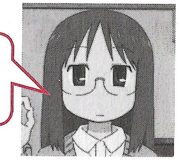
● $y-x$ グラフ

ある時刻（$t=0$）の波形を表すグラフ。



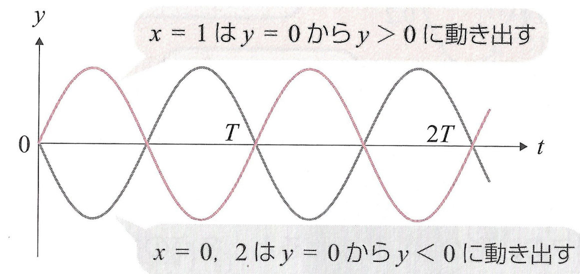

時間を経過させて，波を進ませてみよう。



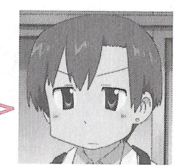
波を進ませると，媒質の各点がどのように単振動しているかがわかる。

$x=0$，1，2 の位置の振動の時間変化をグラフにかいてみよう。




波のグラフは，波形を表す $y-x$ グラフと媒質の振動の時間変化を表す $y-t$ グラフの2種類があるんだよ。

**媒質がどのような振動状態にあるかを表す量を位相というよ。$x=0$ と $x=2$ は振動状態が等しいので同位相，$x=0$ と $x=1$ は振動状態が逆なので逆位相という。**



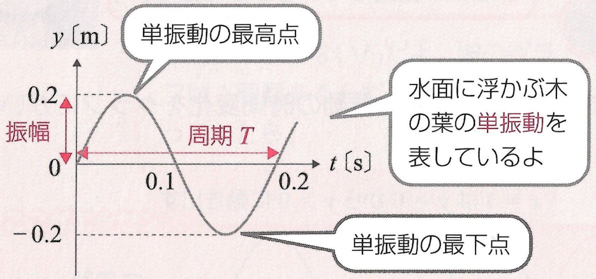



## 2 $y-t$ グラフ

**ここがエッセンス！**

● $y-t$ グラフ

ある位置の振動の時間変化を表すグラフ。



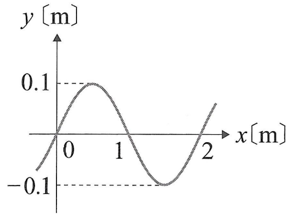

**よくわかる解説**

$y-x$ グラフの波形（はけい）を少し進ませると，各点の振動の向きがわかる。それをもとに各点の $y-t$ グラフを描くことができる。

**問題**

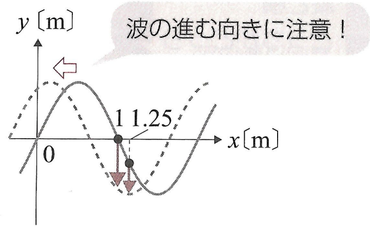
図は $x$ 軸上を負の向きに進む波の $t=0$ の波形を表す。媒質の各点は周期 0.4〔s〕で単振動していた。

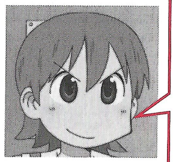
$x=1$，$x=1.25$ のそれぞれについて $y-t$ グラフをかけ。





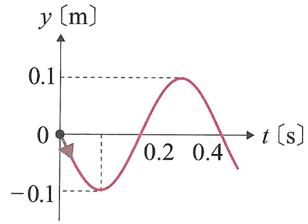

**解答・解説**

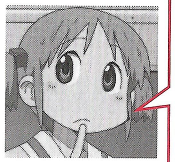


点線は $\frac{1}{8}$ 周期後の波形だ。
$\frac{1}{8}$ 周期のうちに波は $\frac{1}{8}$ 波長（はちょう）だけ進んだね。

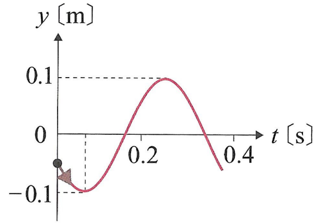
**$x=1$ の $y-t$ グラフ**

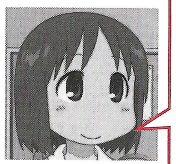


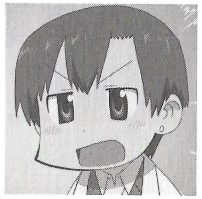
❶ $t=0$ 直後は下向きに動くね。
❷ $\frac{1}{4}$ 周期後に谷になるよ。
作図のポイントはこの2つだね。

**$x=1.25$ の $y-t$ グラフ**



❶ $t=0$ 直後は下向きに動きます。
❷ $\frac{1}{8}$ 周期後に谷になります。
処理手順を身につけましょう！



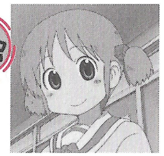
波のグラフを見るときは横軸に注意だ。
$x$ 軸か $t$ 軸かよく確認するのだ。

# Theme 23 横波と縦波










## ここがエッセンス！

- **横波**：媒質の振動方向が波の進む向きと垂直である波。
- **縦波**：媒質の振動方向と波の進む向きが同じである波。縦波は，媒質が密集した部分（**密部**）とまばらな部分（**疎部**）の繰り返しが伝わるので**疎密波**とも呼ばれる。 例 音波

## よくわかる解説

**Q** 横波が固体中しか伝わらないのはなぜ？

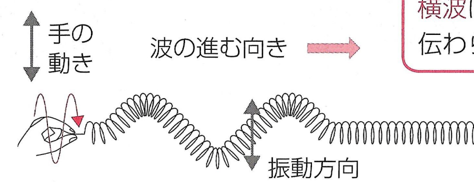
**A** 媒質を横にずらしたとき，固体の場合は元に戻ろうとする力がはたらくが，**液体・気体の場合は元に戻ろうとする力がはたらかない**からだよ。

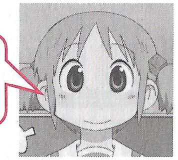
**Q** 光は横波であるにもかかわらず，液体中や気体中を伝わるのはなぜ？

**A** 媒質の振動が順次伝わっていく**力学的な波**と違い，光は電場と磁場の変化が伝わる**電磁波**だ。電磁波は媒質を伝わる波ではないから，液体・気体や真空中でも伝わるんだよ。

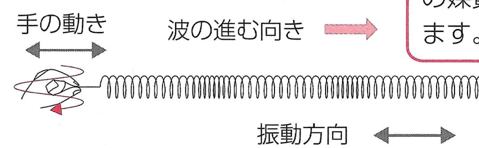


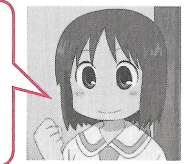
### 横　波

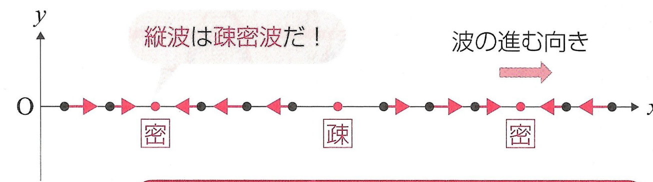


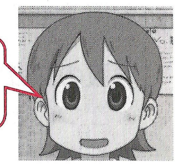



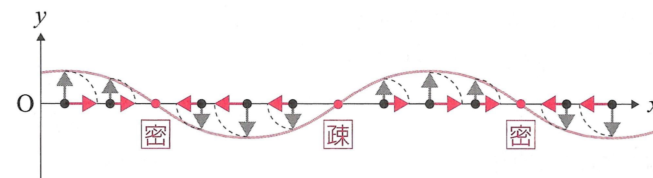

### 縦　波

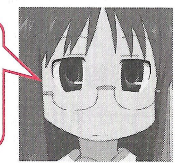


Theme 24

# 波の重ね合わせ

合成波の変位はこうやって求めるのかな？



## 1 波の重ね合わせの原理



確認

2 つの波の山と山が出会うと大きな山になるよね。あっパロピカルトライアングル！ なんつって。

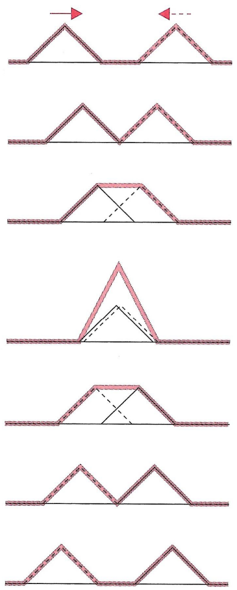
確認

2 つの波の山と谷が出会うと…中庭で出会うと…変位 0 になるだけか…



### よくわかる解説

2 つの波が出会うと，右図の赤線のような波ができる。これは次のように説明できる。



**● 波の独立性**

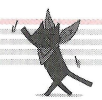
2 つの波は互いに影響を受けることなく進み，それぞれが独立性を保って伝わると考える。これを**波の独立性**という。

**● 波の重ね合わせの原理**

2 つの波の変位を $y_1$，$y_2$ とするとき，赤線の波（**合成波**）の変位 $y$ は，$y_1$，$y_2$ の和になっている。

$$y = y_1 + y_2$$

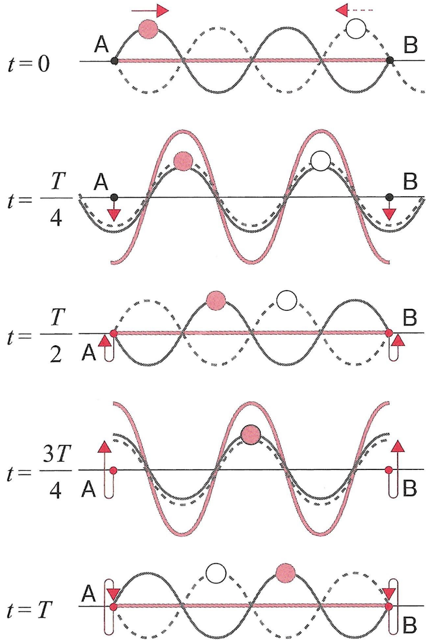
これを**波の重ね合わせの原理**という。



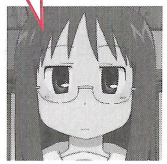


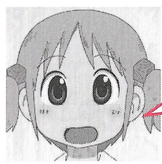
逆向きに進む 2 つの等しい波が重なり合うとき，合成波は進行しない波（**定常波**）になるよ。

下図のように，同位相で振動する波源 A，B から発生した等しい波が逆向きに進み重なり合うとしよう。




**波の重ね合わせの原理**で合成波を作図してみて。$\frac{T}{4}$ごとに合成波（**赤線**）をかくと，合成波はどちらにも進まない波（**定常波**）になることがわかる。





よ～く見て！ **周期** $T$ の間に山（● と○）は**波長** $\lambda$ 進んでいるよ。



ちなみに，連続的でない波を**パルス波**という。






## 2 自由端反射・固定端反射

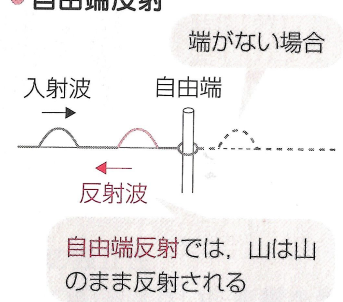
**ここがエッセンス！**

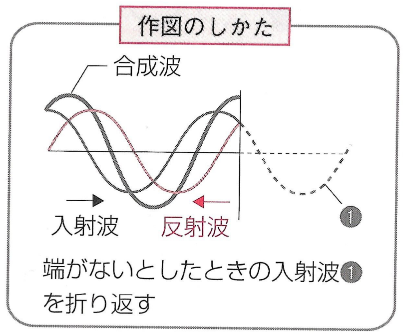
- 自由端（じゆうたん）：媒質（ばいしつ）が自由に振動（しんどう）できる端。
- 固定端（こていたん）：媒質が振動できない端。

**よくわかる解説**

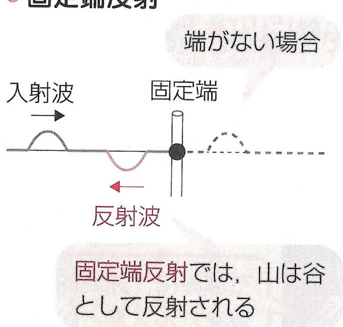
反射波（はんしゃは）の作図のしかたについて説明しよう。

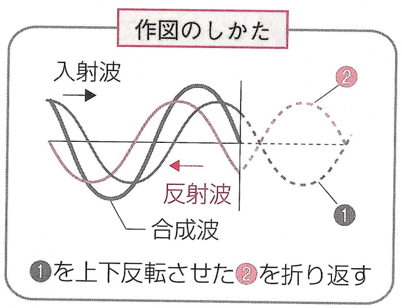
### ● 自由端反射




### ● 固定端反射

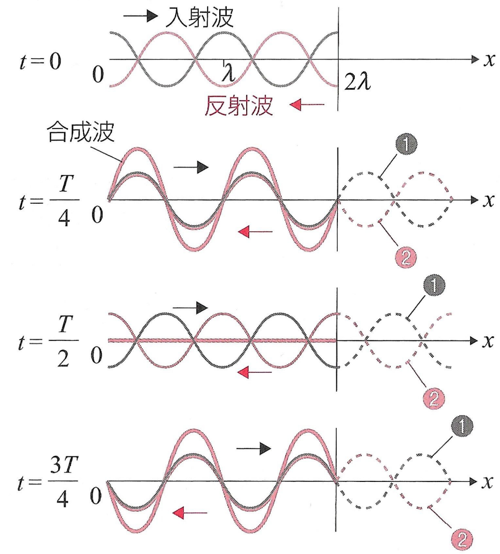


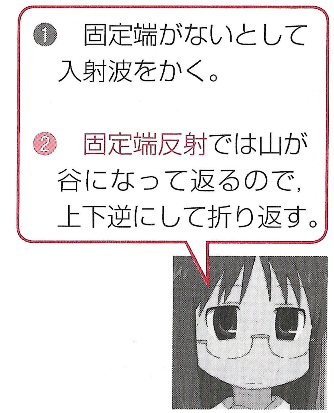






固定端反射の場合で反射波の作図のしかたを解説するよ。

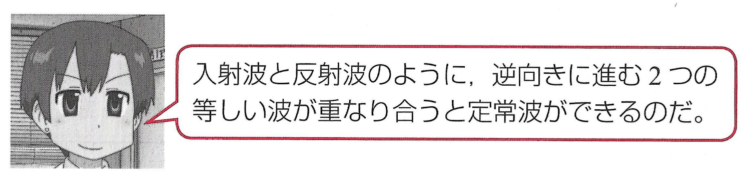
下図のように，時刻 $t=0$ において入射波（にゅうしゃは）と固定端反射波ができていたとしよう。




$t=\frac{T}{4}$ の波を作図するときは，入射波を $\frac{\lambda}{4}$ 進めて❶をかき，固定端反射では山と谷が逆になるから，❶を上下逆にして❷をかく。あとは❷を固定端で折り返せば，固定端反射波のできあがりだ。

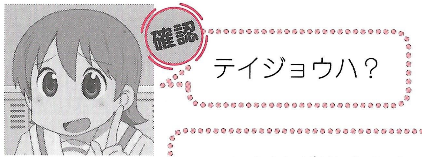
この場合は $t=0$ の反射波がかいてあるから，それを $\frac{\lambda}{4}$ 進ませれば $t=\frac{T}{4}$ の波形になるんだけどね。

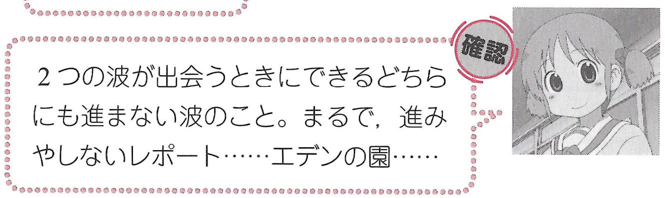


# Theme 25 定常波




## 1 定常波



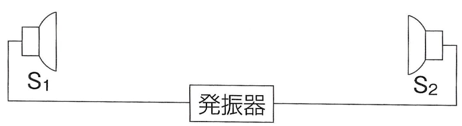




**ここがエッセンス！**

- 定常波（ていじょうは）：波形の進行しない波。**逆向きに進む等しい2つの波が重なり合うときにできる。**定常波の周期は，重ね合わせる前の波の周期に一致する。
- 腹（はら）：定常波の最も大きく振動する位置。
- 節（ふし）：定常波のまったく振動しない位置。

**問題**　センター本試験・改

図のように，向かい合わせに置かれたスピーカー$S_1$，$S_2$から振動数$f$の音波が出ている。波長は$\lambda$とする。




観測者が$S_1$から$S_2$に向かって一定の速さ$v$で歩くと，音の大きさが繰り返し変化して聞こえる。1秒間に音が大きく聞こえる回数$N$はいくらか。

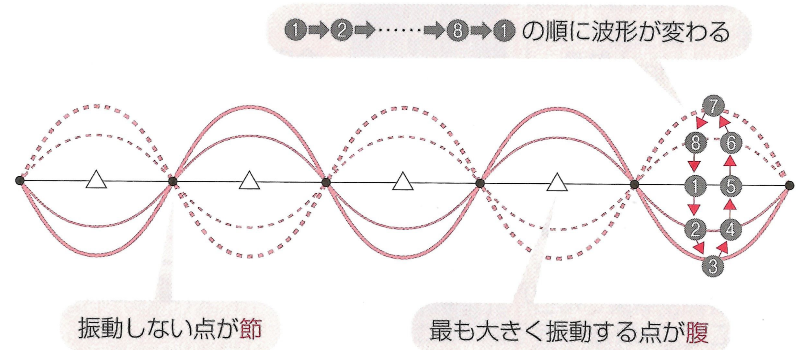


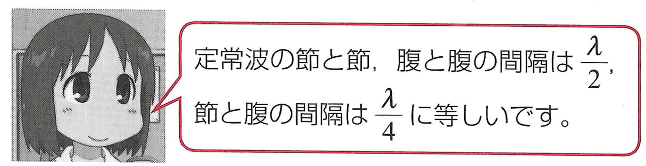
**解答・解説**

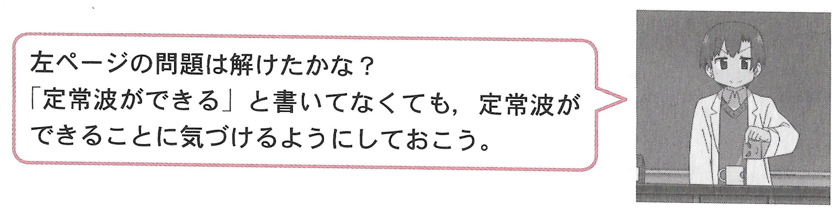
線分$S_1S_2$上では，**逆向きに進む等しい2つの波が重なり合い定常波ができる。**そのため，観測者は$\frac{\lambda}{2}$進むごとに音の大小の繰り返しを聞く。

観測者は1秒間に$v$進むから，$N = v \div \frac{\lambda}{2} = \frac{2v}{\lambda}$　…答

93ページで見たように，逆向きに進む等しい2つの波が重なり合うと定常波ができる。



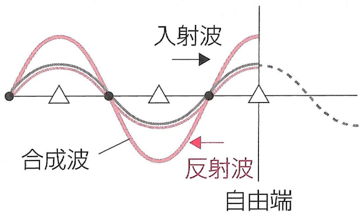






## 2 自由端と固定端

### よくわかる解説

● **自由端反射でできる定常波**

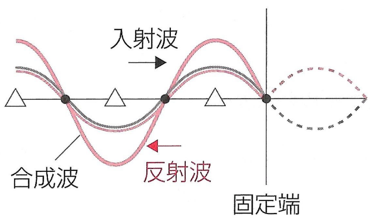



合成波は定常波になる

自由端は定常波の腹になるよ！

自由端（じゆうたん）からの距離が 0，$\frac{\lambda}{2}$，$\lambda$，$\frac{3\lambda}{2}$，……の位置に腹（はら）が並ぶように定常波（ていじょうは）ができる。

● **固定端反射でできる定常波**

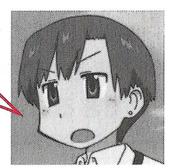


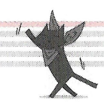

合成波は定常波になる

固定端は定常波の節になるよ！

固定端（こていたん）からの距離が 0，$\frac{\lambda}{2}$，$\lambda$，$\frac{3\lambda}{2}$，……の位置に節（ふし）が並ぶように定常波ができる。

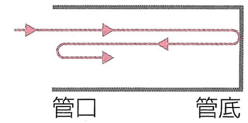
定常波は，逆向きに進む 2 つの等しい波が重なり合ったときに生じるんだ！

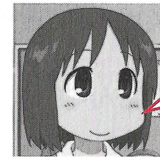




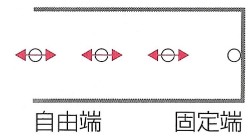


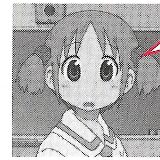
管楽器に息を吹き込んだとき，管の中では入射波（にゅうしゃは）と反射波（はんしゃは）が重なり合って定常波が発生するよ。



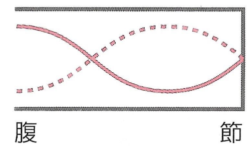



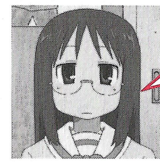
閉管（一端の閉じた管）に音波を入れると，音波は管底と管口で反射するんですね。



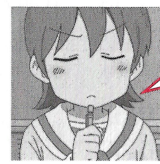



管底は空気が振動できないので固定端に，管口は空気が自由に振動できるので自由端になるよ。



気柱には，
● **管底 ➡ 固定端 ➡ 節**
● **管口 ➡ 自由端 ➡ 腹**
という条件をみたす定常波が発生する。



あーなるほどねー！ ハイハイ，ウンウン，そっかそっか。

閉管（へいかん）に音波を入射すると，管底（かんてい）では固定端反射，管口（かんこう）では自由端反射をして，たくさんの波が重なり合うんだけど，とくに，管底が節，管口が腹になるような波長の音波のときは，定常波ができて大きな音が鳴るんだよ。

**気柱の振動については Theme 29 で学習する。**





Theme 26

# 音波の性質



音波って縦波だよね　最上川



確認　音の速さはどんぐらいだっけ？



確認　だいたい 340 km/s。でも気温によって音速は変わるんだよ。

## よくわかる解説

音波について次の性質は覚えておこう

① **縦　波**

音波は，媒質の疎密が連なって進行する**縦波**（**疎密波**）である。

② **音　速**（空気中）

空気中を伝わる音の速さは，**気温が高いほど大きくなる**。

1 気圧，$t$〔℃〕の空気中の音の速さ $V$〔m/s〕は，

$$V = 331.5 + 0.6t$$

と表される。

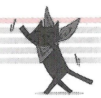
入試では与えられる場合が多いよ

③ **音　速**（液体・固体中）

液体中の音速は空気中の数倍の速さで，固体中ではさらに速くなる。

④ **音の三要素**

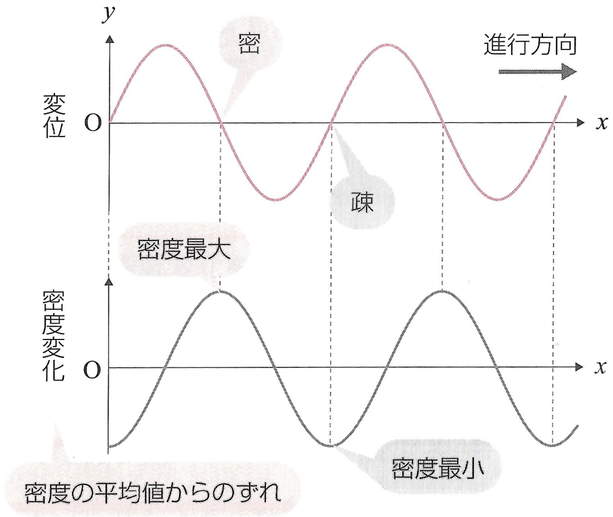
| | |
|---|---|
| 音の高さ | **振動数**が大きいほど高く聞こえる。 |
| 音の大きさ（音の強さ） | 振動数が同じならば，**振幅**が大きいほど大きな音に聞こえる。 |
| 音　色 | **波形**の違いが音色の違いになる。 |



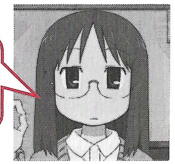


疎密波の場合，**密度変化**のグラフが与えられることがある。密度変化のグラフについて解説するよ。

縦波（横波表示）の波形のグラフから，疎密の状態を読み取り，密度変化のグラフをかいてみよう。




密度変化のグラフと変位のグラフでは山の位置が一致しないから注意が必要。



**波のグラフの縦軸に注意！　縦軸が変位でなく密度変化の場合がある。**





# うなり





確認 ウーーー。ウーーー。

ウォーン，ウォーンと音の大小が繰り返し聞こえるのがうなりだ！



確認 なにそれ？　ゆっこ大丈夫？ 勉強のしすぎでおかしくなった？

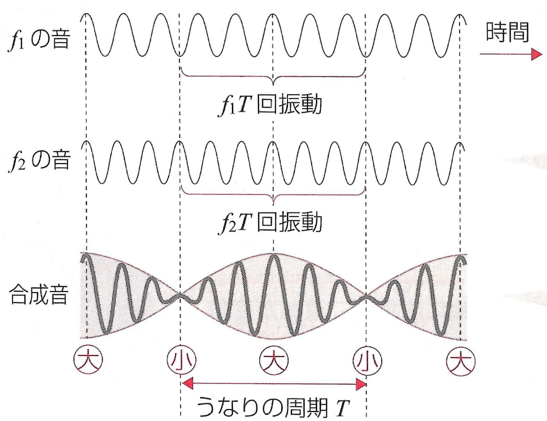
## ここがエッセンス！

- うなり：振動数（しんどうすう）がわずかに異なる2つの音が重なり合い，音の大小が周期的に繰り返される現象。

## よくわかる解説

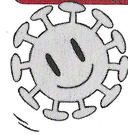
うなりの振動数について説明しよう。

振動数がわずかに異なる2つのおんさ（振動数 $f_1$，$f_2$）を同時に鳴らすと，合成音の振幅（しんぷく）は次のように時間変化する。




うなりの周期（しゅうき）$T$の間に，振動回数の差がちょうど1回であることから，$|f_1T-f_2T|=1$（上図では $|5-6|=1$）が成り立つ。これより，うなりの振動数は，$\dfrac{1}{T}=|f_1-f_2|$ である。

## 重要公式



うなりの振動数　$|f_1-f_2|$

**発展** 合成音の振幅変化を計算で確認してみよう！　振動数 $f_1$，$f_2$ の音をそれぞれ，$y_1=A\sin 2\pi f_1 t$，　$y_2=A\sin 2\pi f_2 t$ とおくと，合成音は，

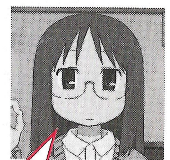
$$y=y_1+y_2=A\sin 2\pi f_1 t+A\sin 2\pi f_2 t$$

と表される。数学公式 $\sin A+\sin B=2\cos\dfrac{A-B}{2}\sin\dfrac{A+B}{2}$ を用いると，

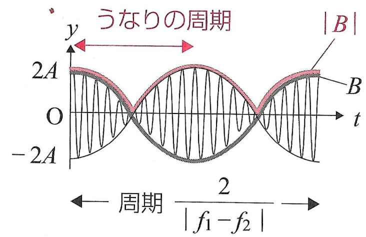
$$y=2A\cos\left(2\pi\frac{f_1-f_2}{2}t\right)\sin\left(2\pi\frac{f_1+f_2}{2}t\right)$$

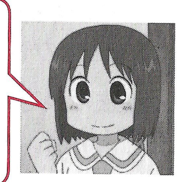
ゆっくりな振動　　はやい振動

$$=B\sin\left(2\pi\frac{f_1+f_2}{2}t\right)$$



これは振幅 $|B|$ がゆっくりと変化する単振動（たんしんどう）とみなせるから，左下図のようなグラフになる。



うなりの周期が $\dfrac{1}{|f_1-f_2|}$ だから，振動数は $|f_1-f_2|$ ですね。

Theme 28

# 弦の振動



ギターやバイオリンなどの弦の振動のことだよ。

## 1 弦の振動



確認 ギターは指で押さえる位置によって音の高さが変わるよね。



確認 それは弦の長さに応じて弦の振動数が変わるからだよ。

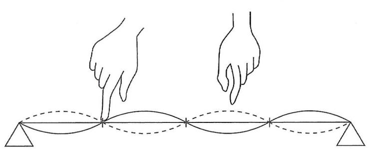
**ここがエッセンス！**

● **弦の振動**（げんのしんどう）：弦を振動させるとき，弦を伝わる横波が両端で反射を繰り返し，それらが干渉して両端を節（ふし）とする定常波（ていじょうは）をつくる現象。

弦にできた定常波を**固有振動**（こゆうしんどう）といい，そのときの振動数を**固有振動数**という。定常波の腹（はら）の数が 1，2，3，……の場合をそれぞれ，**基本振動**（きほんしんどう），**2 倍振動**，**3 倍振動**，……という。

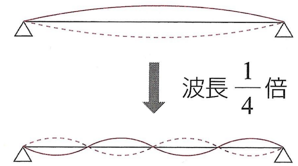
**問題** センター本試験・改

どこも押さえずに弾くと振動数 330Hz の音が出る弦がある。この弦の長さの $\frac{3}{4}$ の場所を軽く押さえて弾いたところ，押さえた点を節とする図のような定常波が生じた。このとき出る音の振動数はいくらか。





**解答・解説**



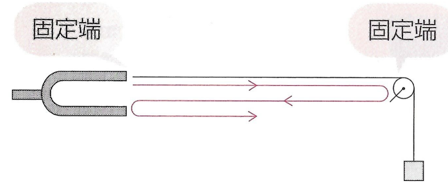

$f = \frac{v}{\lambda}$（$v$：一定，$\lambda$：$\frac{1}{4}$ 倍 → $f$：4 倍）

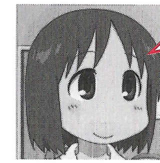
解法の手順を覚えよう！

波長が $\frac{1}{4}$ 倍 ➡ 振動数は 4 倍

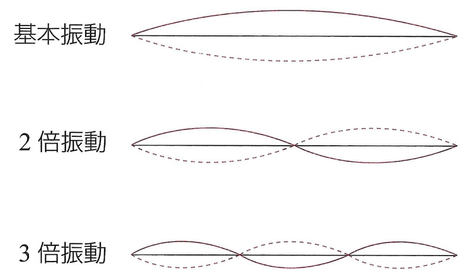
$330 \times 4 = 1320$〔Hz〕

答 **1320〔Hz〕**



おんさの振動によって発生した横波が，固定端反射を繰り返します。






左図のような定常波が発生する。波形を作図できるように。



弦の振動を解く手順

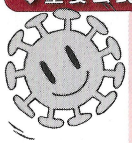
❶ 定常波を作図し，波長を読み取る。

❷ $v = f\lambda$ で計算する。




## 2 弦を伝わる横波の速さ

◆重要公式◆

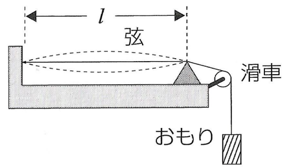


弦を伝わる横波の速さ　$v = \sqrt{\dfrac{S}{\rho}}$

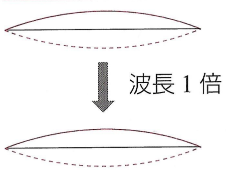
- $S$：弦の張力〔N〕
- $\rho$：弦の線密度〔kg / m〕（単位長さあたりの質量）

**問題**　センター追試験・改

弦の中央を指で弾いたところ，図のように振動数 $f$ の基本振動が発生した。弦の長さとおもりの質量を変えずに弦の基本振動数を $\dfrac{f}{2}$ とするためには，何倍の線密度の弦を用いなければならないか。




**解答・解説**




$\sqrt{\dfrac{S}{\rho}} = f\lambda$

- $S$ ← 一定
- $\lambda$ ← 一定
- $f$ ← $\dfrac{1}{2}$ 倍
- $\rho$ → $2^2$ 倍

**変わらないものチェック**

- 基本振動（腹 1 個）のまま
- 弦の長さはそのまま
- おもりの質量はそのまま

波長 $\lambda$，張力 $S$ は変わらない。

振動数が $\dfrac{1}{2}$ ➡ 線密度は $2^2$ 倍

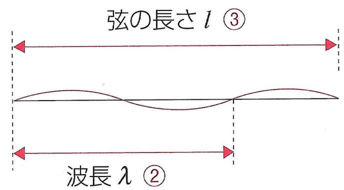
㊀ **4 倍**



左ページの問題では，基本振動（きほんしんどう）の定常波（ていじょうは）ができたから，波長 $\lambda$ は，

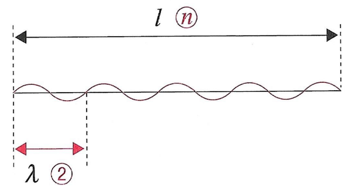
$\lambda = 2l$

だね。それでは，倍振動のときはどのように波長を求めるか説明しよう。



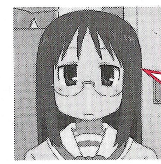



とりあえず，図をかいてみたよ。






左図のように長さの比を考えるといいよ。
3 倍振動では，
$\lambda : l = 2 : 3$
だから，$\lambda = \dfrac{2}{3}l$ だね。



$n$ 倍振動のときは，
$\lambda : l = 2 : n$
だから，
$\lambda = \dfrac{2}{n}l$

左ページの問題はうまく解けたかな？「変わらないものチェック」を行い，何が変わり，何が変わらないのかを正確につかめ！



# Theme 29 気柱の振動



クラリネットやフルートなどの気柱の振動のことだよ。

## 1 気柱の振動



確認 管楽器はどの穴を指で押さえるかで音の高さが変わるよね。



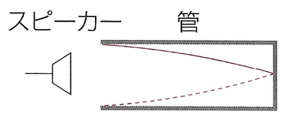
確認 それは気柱の長さに応じて振動数が変わるからだよ。

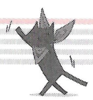
**ここがエッセンス！**

- **気柱の振動**(きちゅうのしんどう)：気柱（管の中の空気）を振動させるとき，音波(おんぱ)が両端で反射を繰り返し，干渉して定常波(ていじょうは)をつくる現象。
  気柱の固有振動(こゆうしんどう)では，**開管(かいかん)の場合**は**基本振動**，**2倍振動**，**3倍振動**，……となるが，**閉管(へいかん)の場合**は**基本振動**，**3倍振動**，**5倍振動**，……と奇数倍振動のみが生じる。
- **共振**(きょうしん)：振動体に，その**固有振動数**にあった力を加え続けると，小さな力でも次第に大きく振動するようになる現象。音の場合は**共鳴**(きょうめい)ともいう。

**問題** センター追試験・改

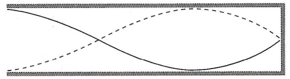
図のように閉管の近くにスピーカーを置いて音を出す。振動数を徐々に大きくしていくと，振動数 $f_1$ で1回目の共鳴が起こり，$f_2$ のとき2回目，$f_3$ のとき3回目の共鳴が起こった。図は $f_1$ のときの定常波のようすである。$f_3$ は $f_2$ の何倍か。



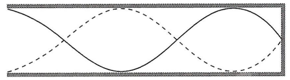





**解答・解説**



2回目。1回目と比べて，波長が $\frac{1}{3}$ 倍だから振動数は3倍（$f_2 = 3f_1$）

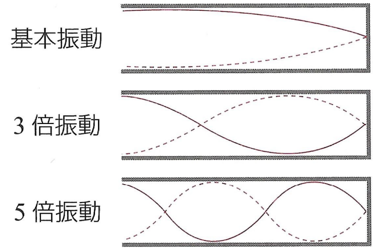


3回目。1回目と比べて，波長が $\frac{1}{5}$ 倍だから振動数は5倍（$f_3 = 5f_1$）

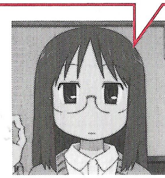
$f_2 = 3f_1$（3倍振動），$f_3 = 5f_1$（5倍振動） ➡ $f_3$ は $f_2$ の $\frac{5}{3}$ 倍 …答

入射波(にゅうしゃは)と反射波(はんしゃは)が重なり合って，開口端が腹(はら)，閉口端が節(ふし)となるような定常波ができる。

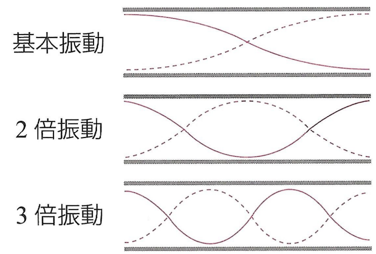
**① 閉管の場合**



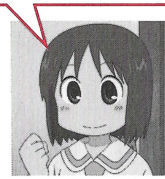

開いていたら腹，閉じていたら節。開管も閉管もこれで作図できる。

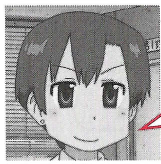


**② 開管の場合**



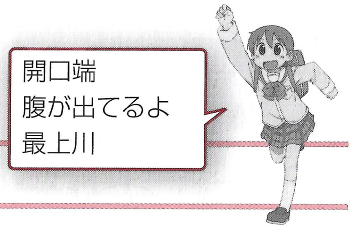

気柱の振動で覚える公式は何もないです。定常波の作図だけしっかりできるようにしましょう！





振動数が3倍だから「3倍振動」，振動数が5倍だから「5倍振動」というんだ。

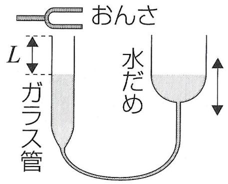




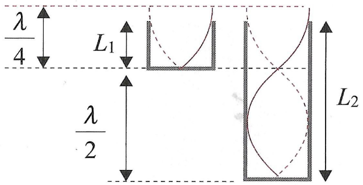

## 2 開口端補正

**問題** センター追試験・改

おんさを管口付近で鳴らしながら水面を管口から次第に下げていくと，$L = L_1$のとき，最初の共鳴が生じ，$L = L_2$のとき，次の共鳴が生じた。開口端補正はいくらか。




**解答・解説**




解法の手順を身につけよう。気柱の振動では長さの差に注目するよ！

長さの差から，$L_2 - L_1 = \dfrac{\lambda}{2}$

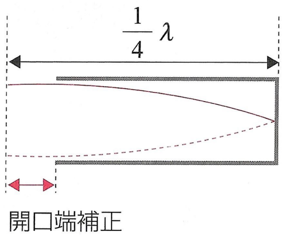
開口端補正（かいこうたんほせい）は，$\dfrac{\lambda}{4} - L_1 = \dfrac{L_2 - L_1}{2} - L_1 = \mathbf{\dfrac{L_2 - 3L_1}{2}}$ …答

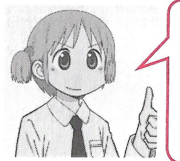


**気柱の振動を解く手順**
❶ **定常波を作図し，波長を読み取る。**
❷ **$v = f\lambda$ で計算する。**



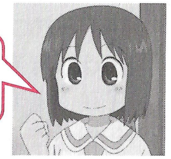
定常波（ていじょうは）の腹（はら）は，実際には管口（かんこう）より少し外に出ている。腹と管口の距離を**開口端補正**という。



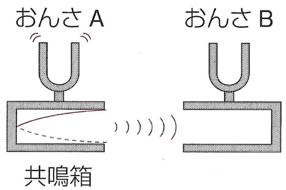



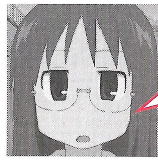
開口端補正の長さは，管の長さと$\dfrac{1}{4}\lambda$の差を計算すれば求まるよ。

開口端補正を無視できる場合もあるから，問題をよく読んで解きましょう。

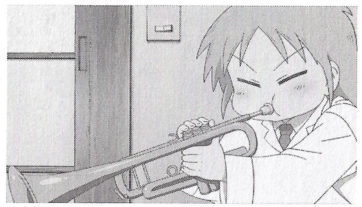


ここで，おんさの共鳴（きょうめい）という現象についても触れておこう。
振動数（しんどうすう）の等しいおんさA，Bを向かい合わせてAを鳴らすと，次第にBも鳴り始める。



振動数の等しいおんさでないと共鳴しない。



Theme 30

# 静 電 気

静電気
ピリッとくるね
最上川





**確認** 静電気って，冬にピリッとくるやつだね。



**確認** あれは体に帯電した電気が金属にふれたときに流れることで起こるんだよ。

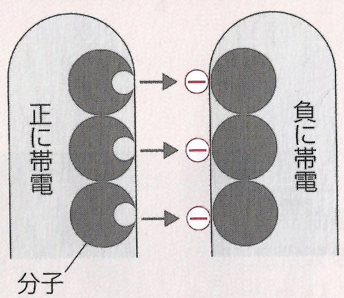
## ここがエッセンス！

- **帯　電**：電気をもつこと。
- **電　荷**：帯電した物体のもつ電気。
- **電気量**：電荷の量。

単位　〔C〕(クーロン) (＝〔A･s〕)

- **静電気**：物体に帯電したまま動かないで静止している電気。
  とくに摩擦によって物体に生じた電気を**摩擦電気**という。

2つの物体を摩擦すると，下図のように**一方から他方へ電子が移動して物体が帯電する。**



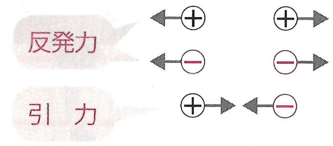

電子が移動し，正負のバランスが崩れるから両者が帯電するんだね！

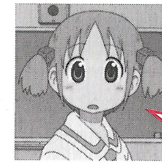
電気をやりとりするだけで全体の電気量の総和は変わらない。これを電気量保存の法則という。





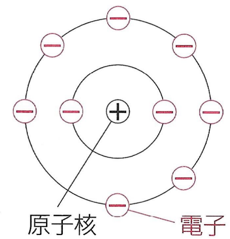
## 電荷にはたらく力

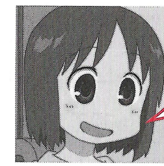


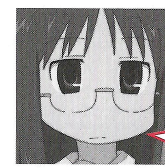
電荷には正・負の2種類がある。**同符号の電荷は反発し合い，異符号の電荷は引き合う**よ。

## 原子の構造



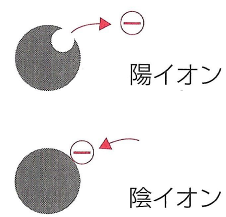



原子は，中心にある原子核とそのまわりをまわる電子からできています。**原子核は正の電気をもち，電子は負の電気をもちます。**



原子核の電気量を $+q$ とすると，電子がもつ電気量の和は $-q$ で，原子全体では $+q-q=0$ だから，**原子全体としては電気を帯びていない。**

## 陽イオン・陰イオン






原子が電子を放出したり，取り込んだりすると，**正負のバランスが崩れて電気を帯び**，陽イオン，陰イオンになるの。



Theme 31
# 電流とオームの法則




## 1 電　流



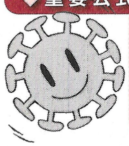




**ここがエッセンス!**

- **電流の大きさ**：1秒間に断面を通過する電気量。
  単位　〔A〕(アンペア) (=〔C/s〕)
- **電流の向き**：正電荷が移動する向き。

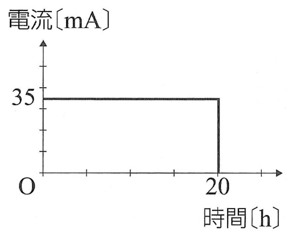
**◆重要公式◆**



電流　$I=\dfrac{q}{t}$　時間 $t$〔s〕の間に断面を通過した電気量〔C〕

**問題**　センター本試験・改

図は，ある電池にある抵抗をつないだときの電流を表す。この電池を携帯電話に使う場合，通話時に100 mA流れるとすると，最大何時間の通話が可能か。この電池が流せる電気量は一定とする。



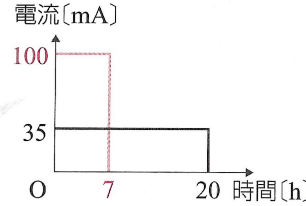



**解答・解説**　公式を使わずに解いてみるよ

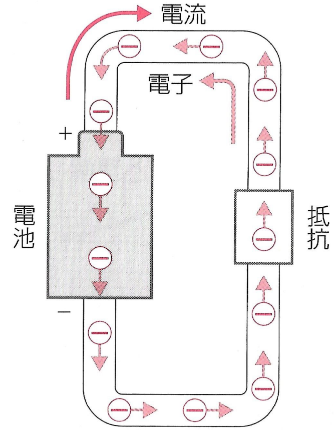
**電流の定義：1秒あたりの通過電気量**

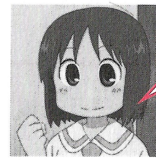
➡ 面積 = 電流 × 時間 = 通過電気量

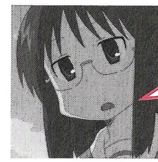
面積（電気量）が等しくなるように長方形を描けば，7時間とわかるね！




答　7時間









## 2 オームの法則

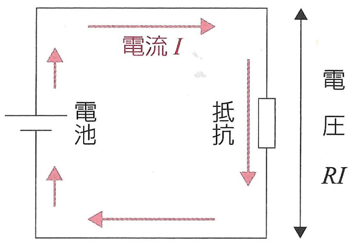
**ここがエッセンス！**

● 抵抗（ていこう）：オームの法則の比例定数。つまり，$R=\dfrac{V}{I}$ が抵抗の定義。電気抵抗。

単位 〔Ω〕(オーム)（＝〔V/A〕）

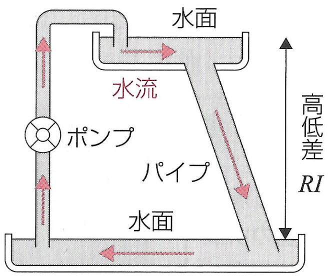
**よくわかる解説**

抵抗にかかる電圧は，水流モデルのパイプの高低差と理解しておこう。

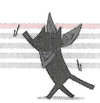



抵抗値 $R$ の抵抗に電流 $I$ が流れるとき，抵抗にかかる電圧はオームの法則より $RI$ だね！

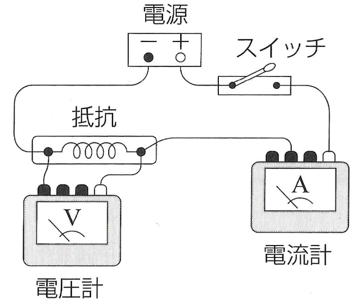
ところで「電圧」って何？



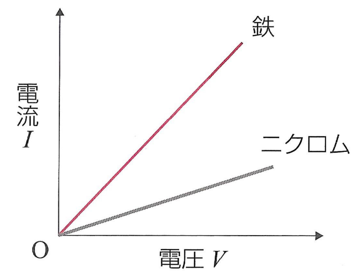

電圧は水流モデルの高低差だ！
電池 ➡ 水をくみ上げるポンプ
抵抗 ➡ 水が流れにくいパイプ
電流 ➡ 水流
電圧 ➡ 高低差

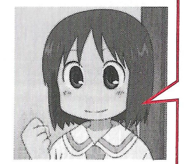







実験結果



左図のような装置で金属に電流を流す実験をすると，**電流と電圧が比例する**という結果が得られます。



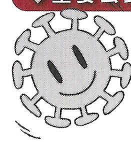
実験結果より，

$V=\square I$

が成り立つ（□は比例定数）。この□を抵抗と名付け，$R$ と書くことにしよう。

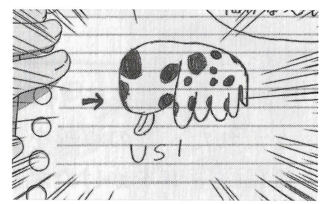
$V=RI$ で表されるこの関係をオームの法則という。

**◆重要公式◆**



オームの法則 $\boldsymbol{V=RI}$

電圧〔V〕 抵抗〔Ω〕 電流〔A〕






Theme 32

# 抵抗と抵抗率



抵抗率
抵抗と違うと
最上川

## 1 抵抗と抵抗率



確認 長さが 2 倍なら抵抗は 2 倍だよね。



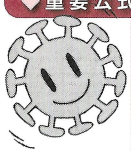
確認 断面積が 2 倍のときは抵抗は $\frac{1}{2}$ 倍になるよ。

### ここがエッセンス！

- 抵抗率（ていこうりつ）：下の公式の比例定数 $\rho$。**温度が上がると抵抗率も大きくなる。** 抵抗率は材質によって決まるので，抵抗率を調べれば，その材質がわかる。抵抗率の値で導体（どうたい），半導体（はんどうたい），不導体（ふどうたい）（絶縁体（ぜつえんたい））の 3 つに区分できる。

  単位　〔Ω·m〕（オームメートル）

### ◆重要公式◆



$$\text{抵抗}\quad R = \rho\frac{l}{S}$$

- $l$：抵抗線の長さ〔m〕
- $S$：抵抗線の断面積〔$m^2$〕
- $\rho$：抵抗率〔Ω·m〕

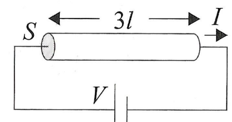
### 問題　センター追試験・改

断面積 $S$，長さ $3l$ の導線に電圧 $V$ をかけると大きさ $I$ の電流が流れた。この導線を 3 等分して，その 3 本を並列に接続し，両端に電圧 $V$ をかけた場合，流れる全電流は $I$ の何倍になるか。



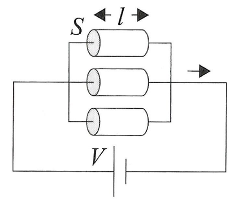


### 解答・解説



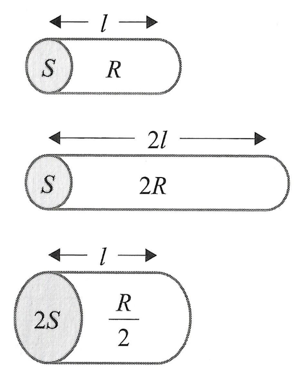

長さが $\frac{1}{3}$ 倍，断面積が 3 倍になったと考えると，公式 $R = \rho\frac{l}{S}$ より，抵抗は $\frac{1}{9}$ 倍。

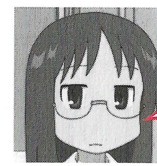
電圧は一定だから，電流は 9 倍。



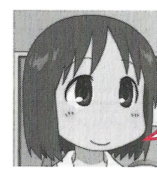

並列接続の合成抵抗の公式を使って解いてもよい（Theme 33）

答　**9 倍**



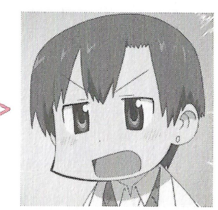



抵抗の抵抗値（ていこうち） $R$ は，
1. **長さ $l$ に比例**
2. **断面積 $S$ に反比例**



抵抗は $R = \rho\frac{l}{S}$（$\rho$：比例定数）という形で表されます。この $\rho$ を抵抗率と名付けます。

**抵抗の公式は，左ページのような抵抗の接続の問題にも使えるんだ。**





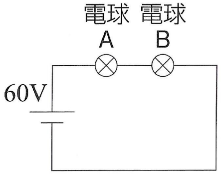


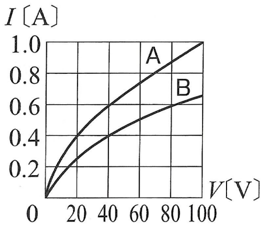
電球は
曲線なんだね
最上川

## 2 電球の抵抗

**問題** センター追試験

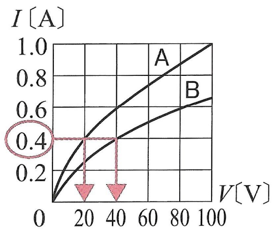
電圧 $V$ と電流 $I$ の関係がグラフのような 2 つの電球 A，B を図のように接続したとき，流れる電流はいくらか。答えを①～⑥より選べ。




① 0.2　② 0.4　③ 0.5　④ 0.6
⑤ 0.75　⑥ 1.25

**解答・解説**



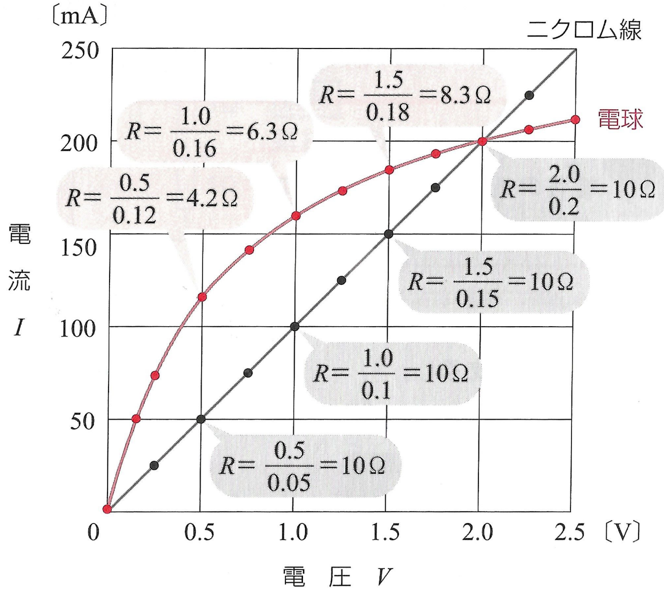

A と B の電圧の和が 60〔V〕になる電流値(でんりゅうち)を選択肢から探す。0.2〔A〕，0.4〔A〕，……と順に調べてみると，0.4〔A〕のとき，左図のように和が 60〔V〕になる。

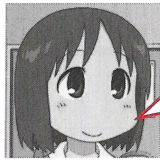
答 ②



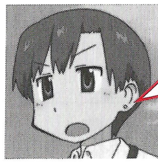



**電球のグラフが直線にならないのは，抵抗(ていこう)が一定でないからなんだ。**
実際に抵抗を計算して確認してみるよ。



電圧 $V$ の値が大きくなるほど，電球の抵抗 $R$ の値が大きくなっているのがわかりますね。



電球の電圧を大きくすると，電球の発熱によって温度が上がり，抵抗率が大きくなって，抵抗が大きくなるんだ。

Theme 33

# 合成抵抗



直列は
そのまま足すよ
最上川

## 1 直列接続の合成抵抗

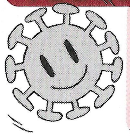


確認 複数の抵抗を1つと見るのが合成抵抗だ，だっけ？



確認 そう。1つと見たほうが楽なこともあるし。

◆重要公式◆



直列接続の合成抵抗　$R = R_1 + R_2 + \cdots$

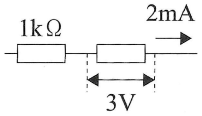
各抵抗の和

### よくわかる解説

❶ 単位をつけて計算すると換算ミスしにくくなる。

❷ 抵抗（ていこう）の定義から合成抵抗（ごうせいていこう）を計算することもできる。

**例❶ 単位をつけた計算**




合成抵抗は，

$$1\,[\mathrm{k\Omega}] + \frac{3\,[\mathrm{V}]}{2\,[\mathrm{mA}]}$$

$$= 1\,[\mathrm{k\Omega}] + \frac{3\,[\mathrm{V}]}{2\times10^{-3}\,[\mathrm{A}]}$$

$$= 1\,[\mathrm{k\Omega}] + 1.5\,[\mathrm{k\Omega}]$$

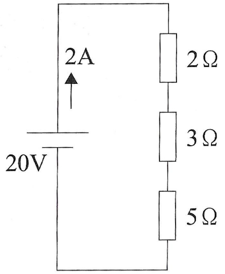
$$= \mathbf{2.5}\,[\mathbf{k\Omega}]$$ …答

単位を変換しながら計算





**例❷ 抵抗の定義による計算**




合成抵抗の公式を使うと，

$2\,[\Omega] + 3\,[\Omega] + 5\,[\Omega]$

$= \mathbf{10}\,[\Omega]$ …答

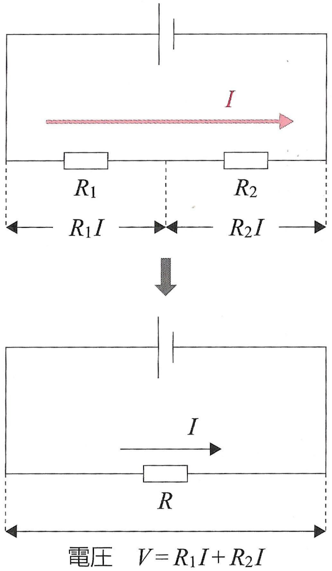
抵抗の定義 $R = \dfrac{V}{I}$

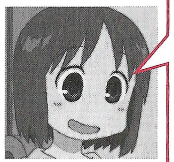
**別解**

抵抗の定義より，$\dfrac{V}{I} = \dfrac{20\,[\mathrm{V}]}{2\,[\mathrm{A}]} = \mathbf{10}\,[\Omega]$

電流と電圧の値がわかれば，抵抗値が計算できるよ！

### 公式導出の手順

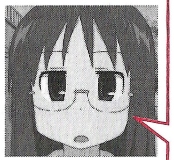


**手順❶**

オームの法則を用いて各抵抗の電圧 $R_1I$，$R_2I$ を計算します。

直列接続された抵抗の電流が等しいことに注目しましょう。



**手順❷**

抵抗の定義　$R = \dfrac{V}{I}$ より，

$$R = \frac{R_1I + R_2I}{I}$$

$$= R_1 + R_2$$



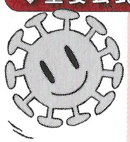
見たことある！　中学で習った公式だ！






## 2 並列接続の合成抵抗

◆重要公式◆



合成抵抗の逆数　　各抵抗の逆数の和

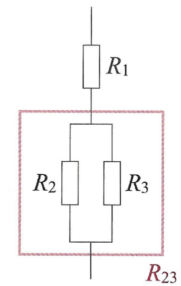
並列接続の合成抵抗 $\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\cdots\cdots$

### よくわかる解説

❶ 並列と直列の混合は並列部分から先に計算する。

❷ 抵抗(ていこう)の公式を利用できる場合もある。

**例❶ 並列と直列の混合**




まず並列部分の合成抵抗 $R_{23}$を求める。

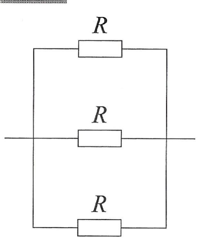
$$\frac{1}{R_{23}}=\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}=\frac{R_3+R_2}{R_2R_3}$$

$$\therefore\quad R_{23}=\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$$

次に，$R_{23}$と $R_1$の合成抵抗を求めて，

$$R_1+R_{23}=\boldsymbol{R_1+\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}}\quad\cdots 答$$

**例❷ 抵抗の公式の利用**

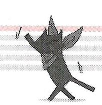



抵抗率(ていこうりつ) $\rho$，長さ $l$，断面積 $S$ の抵抗が 3 つ並列に接続されているとみなせる場合には，抵抗の公式

$$R=\rho\frac{l}{S}$$

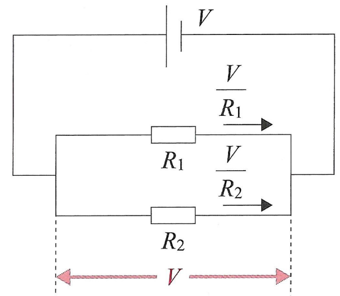
において，断面積が 3 倍になることから，

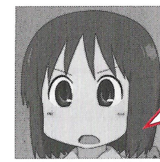
抵抗は $\dfrac{1}{3}$ 倍の $\dfrac{R}{3}$ になる。





## 公式導出の手順

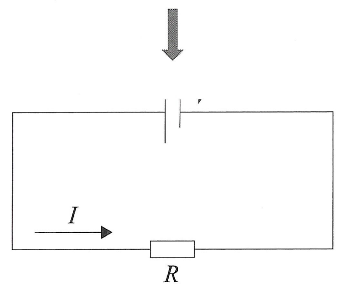


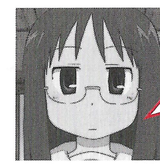
**手 順 ❶**

オームの法則を用いて各抵抗の電流 $\dfrac{V}{R_1}$，$\dfrac{V}{R_2}$ を計算します。

並列接続された抵抗の電圧が等しいことに注目しましょう。




電流 $I=\dfrac{V}{R_1}+\dfrac{V}{R_2}$



**手 順 ❷**

抵抗の定義

$R=\dfrac{V}{I}$ より，

$$\frac{1}{R}=\frac{I}{V}$$

$$=\frac{1}{V}\cdot\left(\frac{V}{R_1}+\frac{V}{R_2}\right)$$

$$=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$








Theme 34 磁場と磁力線

磁気力がはたらく空間
最上川



## 1 磁　　場



確認 ね～ね～，磁場は磁界と違うの？

確認 磁界は中学で習ったよ。磁場と磁界は同じだからどっちを使ってもいいのよ。

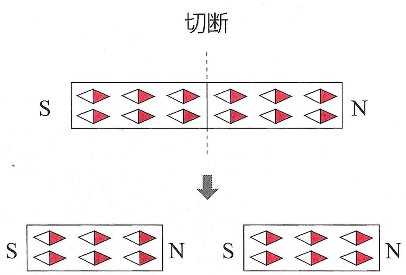


### ここがエッセンス！

- 磁気力（じきりょく）：磁極（じきょく）の間にはたらく力。**同じ極どうしでは反発力，異なる極どうしでは引力となる。**
- 磁場（じば）：磁気力がはたらく空間。磁界（じかい）。
- 磁場の向き：N 極が受ける磁気力の向き。方位磁針（ほういじしん）の N 極が指す向き。

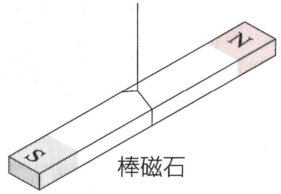
### よくわかる解説

棒磁石を切断しても，N 極と S 極を分けることはできない。



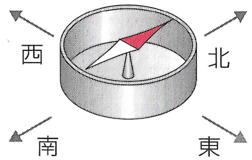

棒磁石を切断しても，切断面に N 極と S 極が現れる。
なぜなら，棒磁石を構成する物質がミクロな単位で磁石（分子磁石）を構成しているからだ！







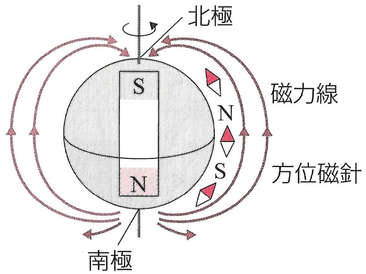

棒磁石を糸でつるすとき，北を指すのが N 極で，南を指すのが S 極だよ。

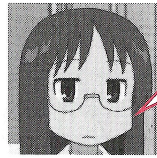



方位磁針

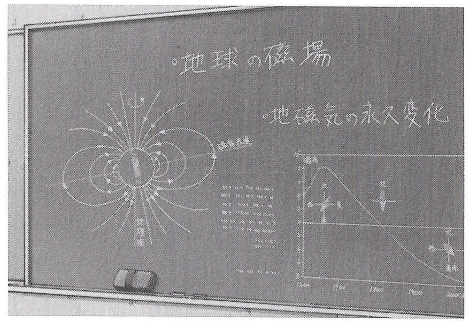


それで，N 極の指す向きが磁場の向きだね！



地球は大きな磁石と見なせる。



## 2 磁力線

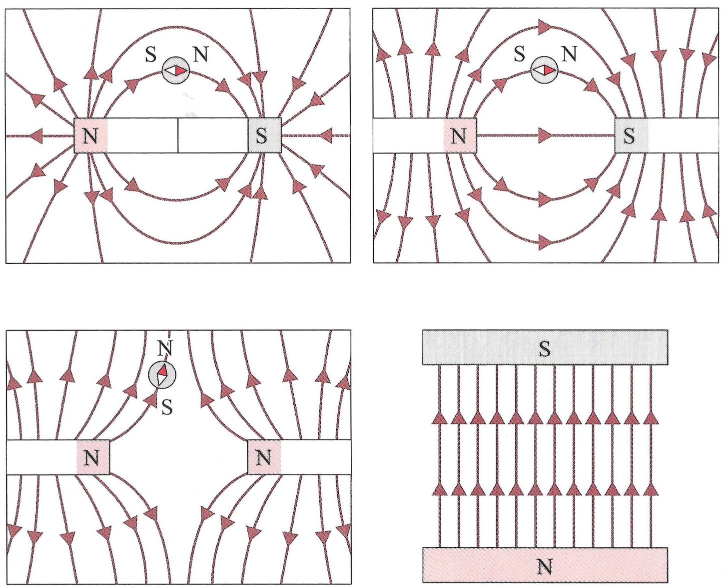


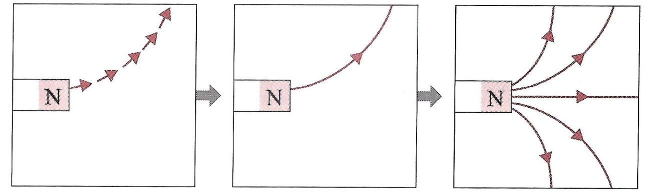

**ここがエッセンス！**

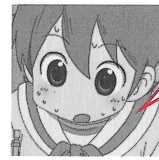
- 磁力線（じりょくせん）：磁場（じば）の中で方位磁針（ほういじしん）をN極の指す向きに少しずつ動かすと，1本の線を描く。この線に方位磁針が動いた向きの矢印をつけたものを磁力線という。

**よくわかる解説**

代表的な磁力線を覚えておこう。



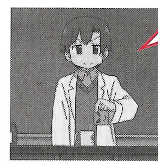



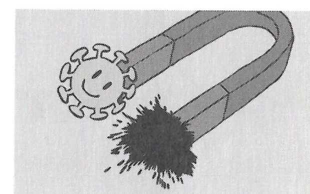
ど，ど，どうやって描くの？

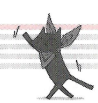


方位磁針をN極の向きに少しずつ動かすと1本の曲線ができます。描いた線に動いた向きの矢印をつけたのが磁力線。何本か描いてできあがり！



磁力線の性質は
- N極から出てS極に入る。
- 磁力線上の各点での磁場の向きは，磁力線の接線方向である。
- とぎれたり，枝分かれしたり，交わったりすることはない。
- 磁力線が集まっているところは磁場が強い。








Theme 35

# 電流がつくる磁場




## 1 直線電流がつくる磁場



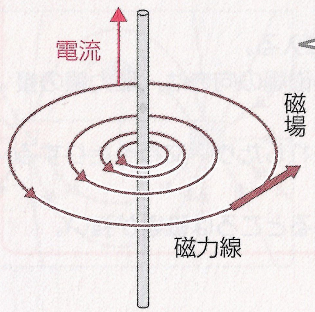
確認 ここは中学の時にみたような…。



確認 もう！　習ったよ！　電流はまわりに磁場をつくるんでしょう。

### ここがエッセンス！

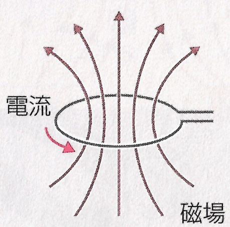
● 直線電流がつくる磁場



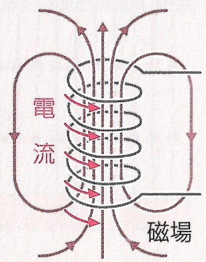

磁力線は電流を中心に同心円になり，電流に近いほど密になる

導線を密に巻いた細長いコイルをソレノイドという

● 円形電流がつくる磁場



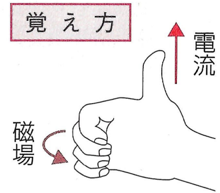

● ソレノイドによる磁場



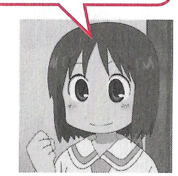


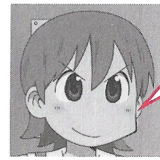

直線電流がつくる磁場(じば)は，右手で次のように覚えよう。

覚え方




直線電流がつくる磁場の向きは，電流の向きに右ねじを進めるとき，ねじを回す向きに一致します。これを右ねじの法則といいます。ロボ的なものではありません。

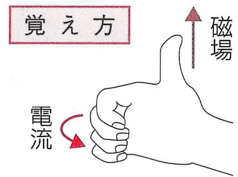




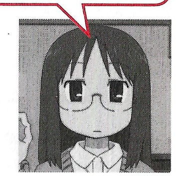
親指の方向が電流の向きときましたか。

次は，円形電流がつくる磁場とソレノイドによる磁場の覚え方だ。

覚え方

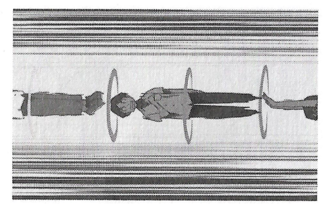



これが円形電流がつくる磁場とソレノイドによる磁場の覚え方。磁力線の形は棒磁石がつくる磁力線とよく似ている。





あれっ～，上の覚え方によく似てる～。もうわかんないよ～！



Theme 36

# 電流が磁場から受ける力





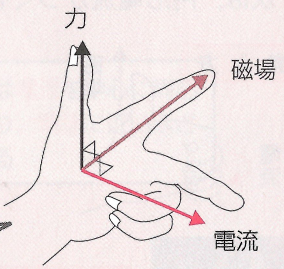

確認 フレミング左手の法則も中学で習ったんだよね？

確認 そうだよ。Theme 35，Theme 36，Theme 37 は中学の復習だよ。



## ここがエッセンス！

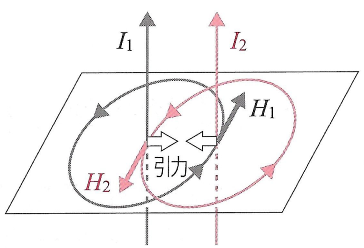
● **フレミング左手の法則**：フレミングが発見した右図の関係。力の向きは，電流（でんりゅう），磁場（じば）のどちらにも垂直。




覚え方は「電（でん）・磁（じ）・力（りょく）」

## よくわかる解説

同じ向きに流れる平行電流には引力がはたらくんだよ。

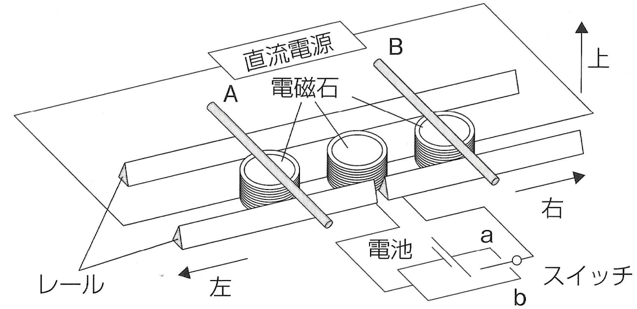



電流 $I_1$ が磁場 $H_1$ をつくるため，電流 $I_2$ は磁場 $H_1$ から力を受ける

逆向きに流れる平行電流には反発力がはたらく。自分で確かめてみよう。

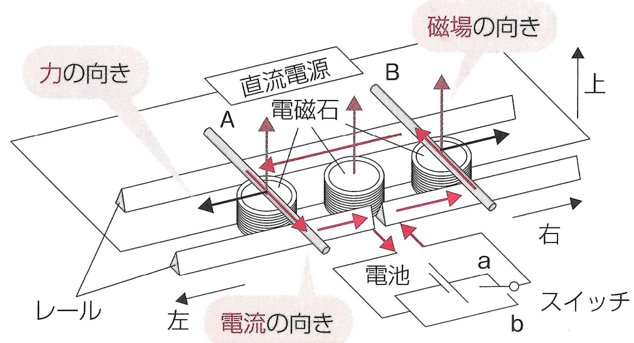


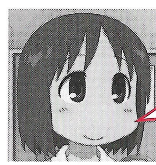
電磁石で上向きの磁場をつくり，レールの上に導体棒 A，B を置く。スイッチを a 側に入れると，A は左，B は右に動き出す。



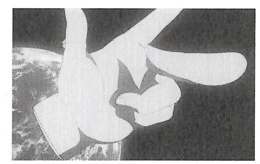



A が左，B が右に動き出すのがなぜだかわかるかな？



電流が上図のように流れて，A と B に力がはたらくんですね。力の向きはフレミング左手の法則で調べればわかります。



Theme 37 **電磁誘導**

磁場の変化
電流生み出す
最上川





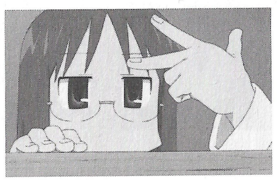
確認 コイルの中の磁場が変化するとコイルに電流が流れる現象だよね。



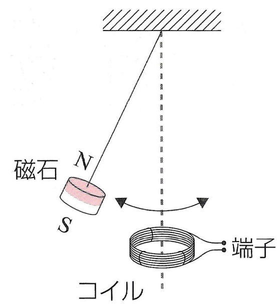
確認 その通り。変化を妨げるように誘導起電力が生じるんだね。

**ここがエッセンス！**

- **電磁誘導**：磁石とコイルが相対的に運動しているとき，コイルの両端に電圧が発生する現象。このとき発生する電圧を**誘導起電力**という。
  コイルに検流計や抵抗をつなぐと，回路が閉じて**誘導電流**が流れる。
  例 自転車のライトの発電機
- **レンツの法則**：コイルをつらぬく磁力線の数が変化するときに発生する誘導起電力の向きは，**磁力線の数の変化を妨げる向き**である。
- **ファラデーの法則**：コイルに発生する誘導起電力は，コイルをつらぬく磁力線の数の**変化の速さに比例**し，また**コイルの巻数にも比例**する。

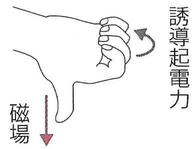


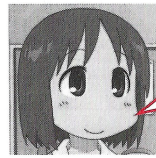





磁石をつけた振り子をコイルの近くで振動させると，コイルの端子に誘導起電力が発生する。端子に抵抗をつなげば誘導電流が流れる。誘導起電力の向きをレンツの法則で調べてみよう。

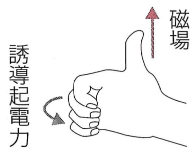
**① 磁石（S 極）がコイルに近づくとき**

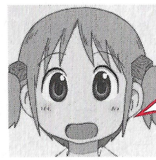


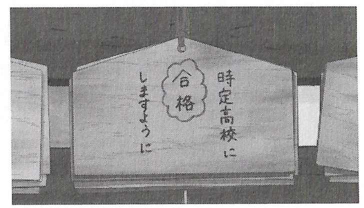
コイルをつらぬく上向きの磁力線が増加すると，**増加を妨げる向き**（下向きの磁場をつくる向き）に誘導起電力が発生します。

**② 磁石（S 極）がコイルから遠ざかるとき**



コイルをつらぬく上向きの磁力線が減少すると，**減少を妨げる向き**（上向きの磁場をつくる向き）に誘導起電力が発生するね。



## Theme 38 交流と変圧器

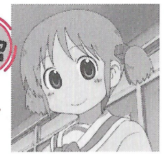


変圧器
交流だけよ
最上川

### 1 交流と変圧器



確認 家庭で使う電気が交流なのはなぜ？

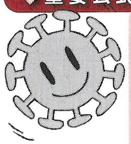


確認 交流は変圧器で自由に電圧を変えられるからだよ。

**ここがエッセンス！**

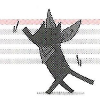
- **直流**：流れる向きが変わらない電流。
- **交流**：流れる向きが周期的に変わる電流。
- **周期**：1回振動するのにかかる時間。
- **周波数**：1秒間に振動する回数。周期の逆数。
  単位 〔Hz〕（ヘルツ）（＝〔1/s〕）
  例 ACアダプタ（交流を直流に変換する装置）
- **変圧器**：電磁誘導を利用して交流電圧の大きさを変換する装置。**トランス**。

**◆重要公式◆**



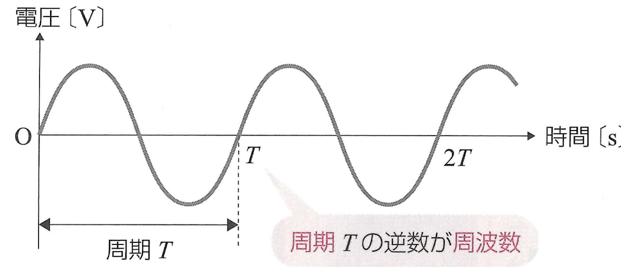
電圧と巻数の関係 $\dfrac{V_2}{V_1} = \dfrac{N_2}{N_1}$ 　電圧と巻数は比例する

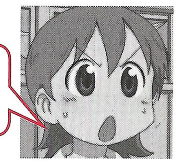
エネルギー保存則（理想的な変圧器） $I_1V_1 = I_2V_2$ 　1次側と2次側の電力は等しい



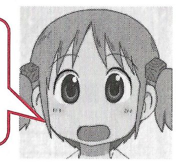


### 交流電圧



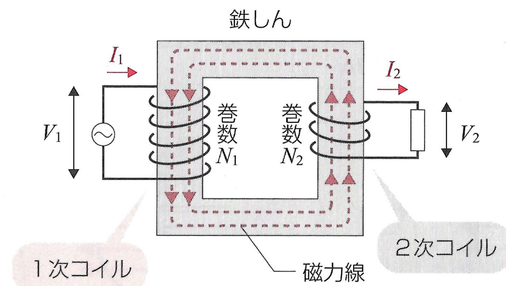



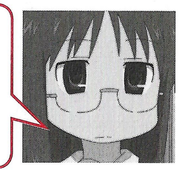
家庭用の交流は，**東日本では 50 Hz**，**西日本では 60 Hz** の周波数が使われているけど，どうして違うの？



発電機を輸入するとき，関東にはドイツから 50 Hz のものが，関西にはアメリカから 60 Hz のものが輸入されたからだよ。

### 変圧器



1次コイルに交流が流れると，鉄しん内部の磁力線の数が変化し，2次コイルに誘導起電力が発生。
それから，変圧器は直流では使えない。電流が変化する交流だから使える。





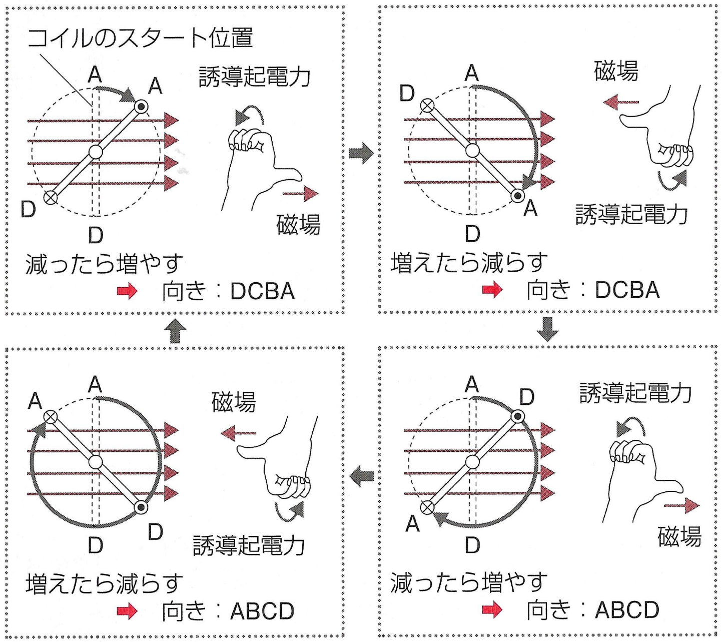

## 2 交流発電機

**発展** 右ページの交流発電機でどのように交流電圧が発生するのか調べてみよう。

### よくわかる解説

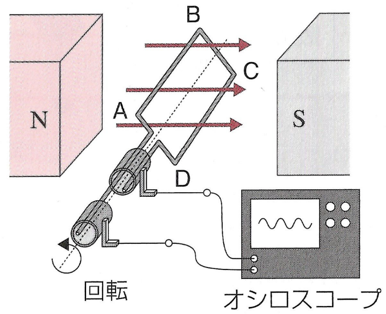
コイルが $\frac{1}{4}$ 回転するごとにレンツの法則で誘導起電力の向きを調べると，周期的に向きが変化することがわかるよ。

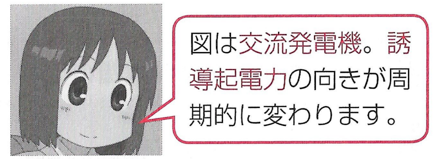
**磁場の中で回転するコイルに発生する誘導起電力**






磁場の中でコイルを回転させると，コイルをつらぬく磁力線の数が増えたり減ったりするため，コイルの両端に誘導起電力が発生する。



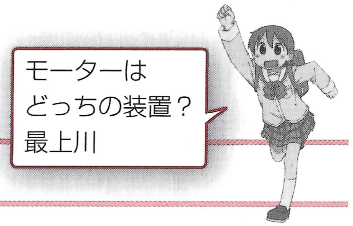




左ページの図に「コイルのスタート位置」がかいてあるね。そこから $\frac{1}{4}$ 回転する間に注目すると，コイルをつらぬく磁力線がだんだん減少するから，磁力線を増やそうとする向き（DCBA）に誘導起電力が生じているね。さらに $\frac{1}{4}$ 回転させるとDCBAの向きに，またさらに $\frac{1}{4}$ 回転させると今度はABCDの向きになり，図のように周期的に変化する誘導起電力が生じていることがわかるね。






## 3 モーターと交流発電機の比較

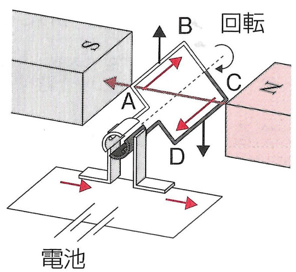
発展　モーターのしくみを学習しよう。

**ここがエッセンス！**

- **モーター**：電流が磁場から受ける力を利用して，電気エネルギーを力学的エネルギーに変換し，動力を発生する装置。

**よくわかる解説**

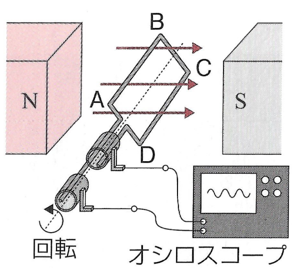
モーターと交流発電機の装置はよく似ているけど，モーターには整流子があるのが異なる点だね。




**モーター**

モーターは電気エネルギーを力学的エネルギーに変換する。

整流子があるため，コイルのA側はブラシの右側➡左側➡右側➡左側……と交互につながる！



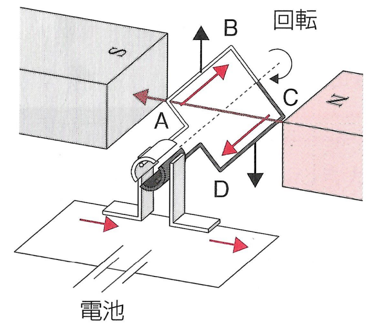

**交流発電機**

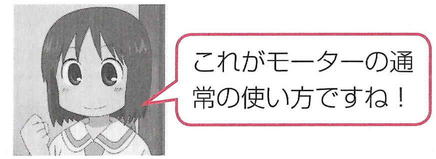
発電機は力学的エネルギーを電気エネルギーに変換する。

コイルのA側は手前側ブラシと，D側は奥側ブラシと常につながったままだ！

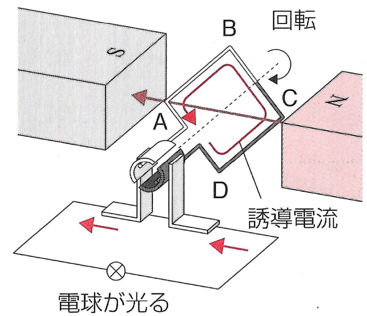


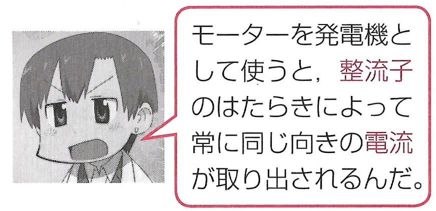
モーターに電池をつなぐと，電流が磁場から力を受けてコイルが回転する。

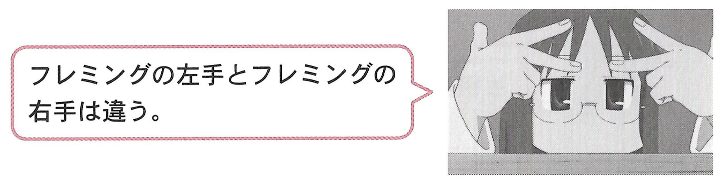



次に，モーターに電球をつないで外から力を加えてコイルを回転させてみる。磁場の中でコイルが回転するため，コイルには誘導起電力が発生し，電球が光る。



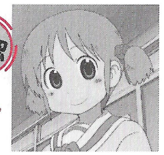



Theme 39 
# 電磁波



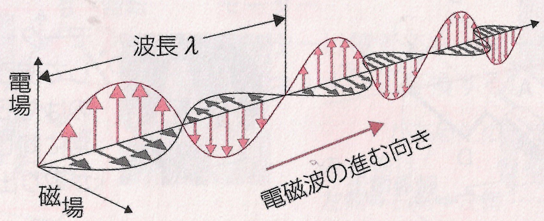







## ここがエッセンス！

- **電磁波**（でんじは）：電場（でんば）が変化すると磁場（じば）が発生し，その磁場が変化すると，さらに電場が発生し，……というように，**電場と磁場の変化が波として空間を伝わっていく現象**。真空中の電磁波の速さは $3.00 \times 10^8$ m/s である。



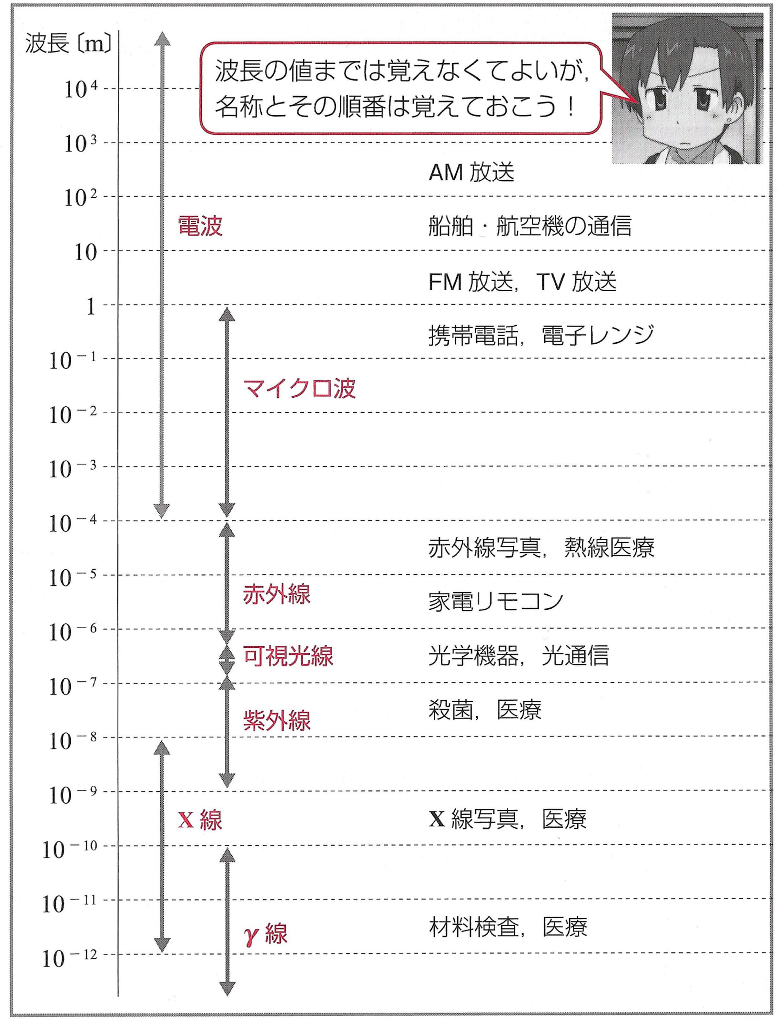

**身近な例**　電子レンジ

電子レンジにはマイクロ波が使われている。食物にマイクロ波を当てると，食物内の水分子が激しく振動し，短時間で内部まで温まる。





## 電磁波の種類と利用









# Theme 40 エネルギーとその利用




## 1 エネルギーの変換と保存



確認 原子力発電がいま問題になっているよね。

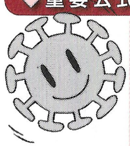


確認 電気がないと生活できないから難しい問題だよね〜。

### ここがエッセンス！

- **エネルギー保存則**：エネルギーの変換においては，それに関係したエネルギーの総和は一定である。エネルギーには力学的エネルギーや熱エネルギー以外に，**電気エネルギー**，**化学エネルギー**，**光エネルギー**，**核エネルギー**がある。
- **ジュール熱**：導体に電流を通したとき，抵抗(ていこう)で発生する熱。
  単位 〔J〕(ジュール)
- **電力**：抵抗に流れた電流がした仕事の仕事率。**1秒あたりのジュール熱に等しい。**電力 × 時間を**電力量**という。
  単位 〔W〕(ワット)(＝〔J/s〕)

### ◆重要公式◆

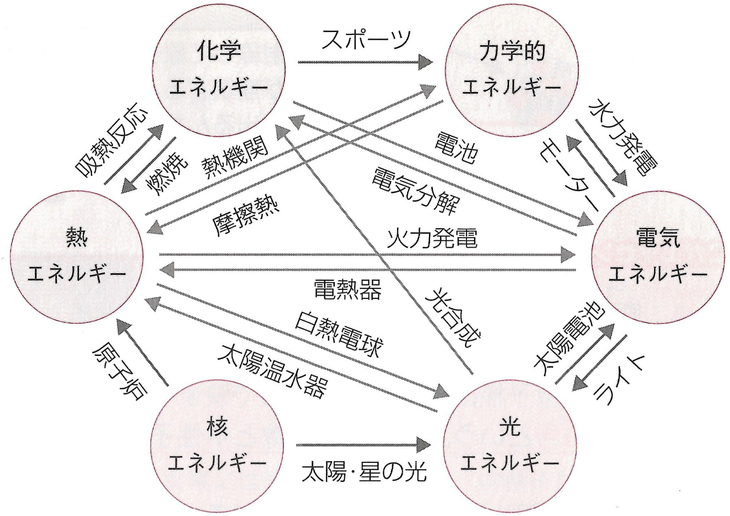


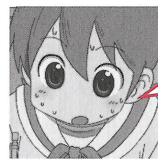
電流〔A〕 電圧〔V〕

電力 $P = IV$

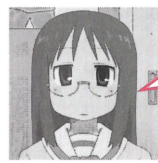
ジュール熱 $Q = IVt$ 時間〔s〕





う〜ん。よく見ないと，何が何やらわからないよ〜。



たとえば，ある火力発電所では，重油の燃焼によって水を沸騰(ふっとう)させ，生じる水蒸気でタービンをまわして，発電機を運転している。



重油の化学エネルギーが燃焼によって熱に変換され，さらにタービンの力学的エネルギーとなり，発電機によって電気エネルギーに変換されるというわけだ。




## 2 放射線

**ここがエッセンス！**

- **原子核**：原子は，原子核と電子（電気量 $-e$）からなる。原子核は，**陽子**（電気量 $+e$）と**中性子**（電気量 0）からなる。元素の種類は原子核に含まれる陽子数で決まり，その数を元素の**原子番号**という。また，陽子数と中性子数の和を**質量数**という。
- **同位体**：陽子数が同じでも中性子数が異なるものがあり，それらを同位体という。
- **放射性崩壊**：ウラン，ラジウムなどの不安定な原子核が，粒子や電磁波などの放射線を出して，より安定な別の原子核に変わる現象。
- **放射能**：放射線を出す能力。放射能をもつ同位体を**放射性同位体**という。

  単位　ベクレル

  たとえば，100 ベクレルとは，1 秒間に100 個の原子核が崩壊するだけの量の放射性物質を含んでいるということ

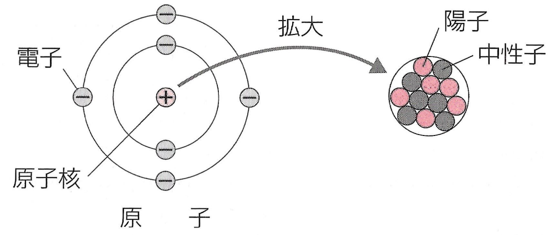
- **放射線**：放射性崩壊で出る放射線には，**$\alpha$ 線**，**$\beta$ 線**，**$\gamma$ 線**の 3 種類がある。

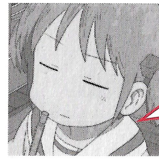
| 種類 | 本体 | 電離作用 | 透過力 |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ 線 | ヘリウムの原子核 | 大 | 小 |
| $\beta$ 線 | 電子 | 中 | 中 |
| $\gamma$ 線 | 電磁波 | 小 | 大 |

単位　シーベルト
　　　グレイ

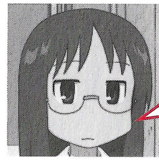
放射線を人が浴びた場合の影響の程度を示す単位がシーベルトだ



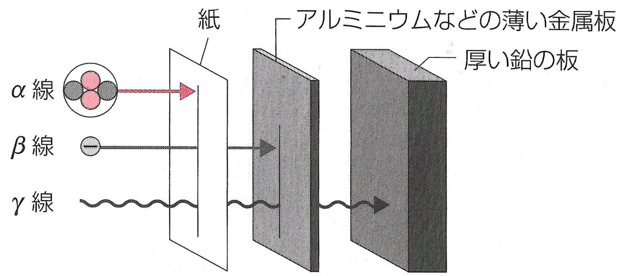


**陽子**が 6 個の原子は**原子番号** 6 の炭素だ。**中性子**が 6 個なら**質量数**は 12。**質量数**が 12 の炭素を「炭素 12」と呼んでいるんだね。

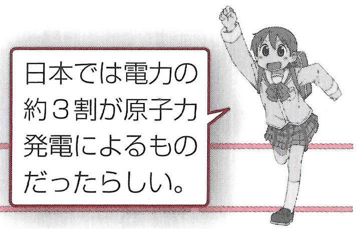


炭素には炭素 12 のほかに，中性子が 7 個の炭素 13 と，中性子が 8 個の炭素 14 の**同位体**がある。炭素 14 は**放射性崩壊**を起こす**放射性同位体**。




**$\alpha$ 線は紙 1 枚で遮断できるけど，$\gamma$ 線は透過力が強く，厚い鉛板や鉄板でないと遮断できないんだ。$\gamma$ 線を扱うときは十分注意することが必要だ。**






## 3 原子力発電

**ここがエッセンス！**

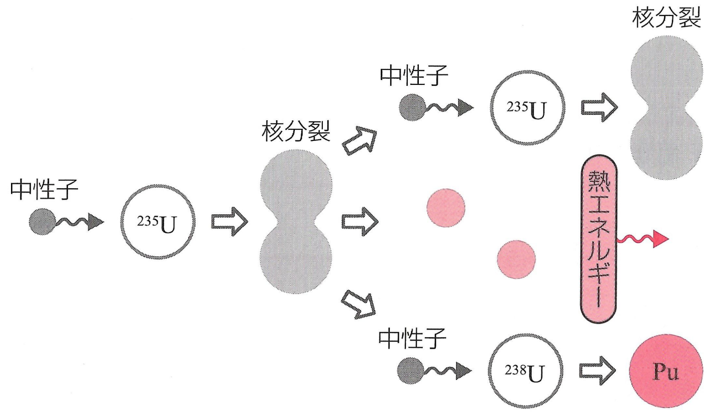
- **核反応**：原子核が変化する反応。
- **核分裂**：１つの原子核がいくつかの原子核に分かれる反応。
  例 ウラン原子核が中性子を吸収して２つの原子核に分かれる反応
- **核エネルギー**：核反応において発生するエネルギー。核分裂では大きな核エネルギーが発生する。
- **原子力発電**：核分裂によって発生した熱エネルギーを利用してタービンをまわし，発電する方法。

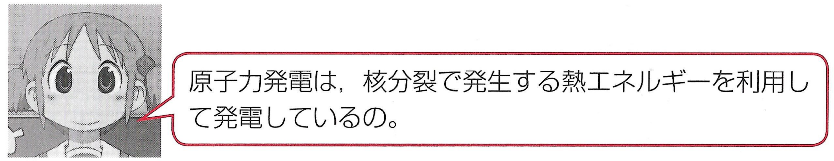
ウラン 235 は中性子を吸収すると核分裂を起こす。このとき，2〜3 個の中性子が発生する。その中性子をウラン 235 が吸収して核分裂を起こし，そこで発生した中性子をまたウラン 235 が吸収すれば次々に核分裂が起こる。このような反応を**連鎖反応**という。

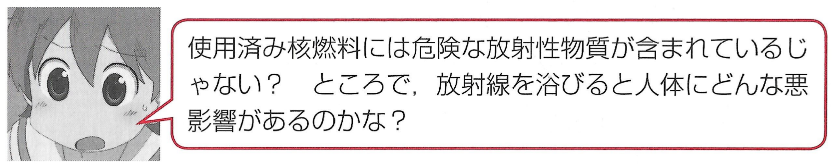
安全かつ継続的に連鎖反応を起こさせる装置を**原子炉**という。ウランなどの核燃料が一定量に達すると連鎖反応が起こる。この状態を**臨界**，臨界に達するために必要な核燃料の量を**臨界量**という。

使用前の核燃料の成分はウラン 235 とウラン 238 である。使用済みの核燃料には，残ったウラン 235，ウラン 238 のほか，ウラン 238 が中性子を吸収してできたプルトニウム 239 や，ウラン 235 の核分裂でできたセシウム 137 やストロンチウム 90 などの放射性物質が含まれている。このような放射性物質を含む放射性廃棄物をどのように処理するかが重要な課題である。






放射線を大量に浴びると細胞の DNA が破壊されるんだ。その DNA がきちんと修復されないときや正常な細胞に分裂しない場合，放射線被ばくによって数週間で白血球の減少によって免疫力が低下したり，数ヶ月から数年たってから白血病や甲状腺がんになることもある。ただし，私たちはふだん自然界からも年間 2400 マイクロシーベルトの放射線を浴びているし，東京〜ニューヨーク間を飛行機で往復するだけで 200 マイクロシーベルトの放射線を浴びるんだ。むやみに怖がらず，放射線量についての正しい知識を身につけることが必要だね。

## 4 半減期と被ばく




### ここがエッセンス！

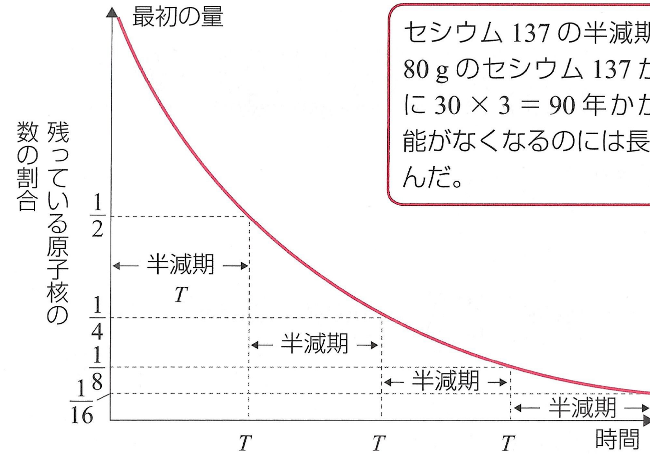
● **半減期**（はんげんき）：原子核（げんしかく）が崩壊（ほうかい）によって他の原子核に変わり，もとの原子核の数が半分になるまでの時間を半減期といい，原子核の種類によって決まっている。

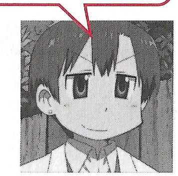
| 原子核の種類 | 半減期 |
|---|---|
| 炭素 14 | 5730 年 |
| カリウム 40 | 12.8 億年 |
| コバルト 60 | 5.27 年 |
| ストロンチウム 90 | 29.1 年 |
| ヨウ素 131 | 8.04 日 |
| セシウム 137 | 30.1 年 |
| ラドン 222 | 3.82 日 |
| ラジウム 226 | 1600 年 |
| ウラン 235 | 7.04 億年 |
| ウラン 238 | 44.8 億年 |
| プルトニウム 239 | 2.41 万年 |

● **被ばく**：被ばくには，体外から被ばくする場合の**外部被ばく**と，体内から被ばくする場合の**内部被ばく**がある。

放射性物質を含んだ水や食物を口にすると，放射性物質が体内の様々な臓器に蓄積され，体内で放射線を出し続ける。半減期の長い放射性物質を体内に取り込んでしまうと，その後何年も被ばくし続けることになり，たいへん危険である。






体内に入った放射性物質は，それぞれ特定の臓器に蓄積される傾向があるんだ。ヨウ素131は甲状腺に，セシウム137は骨，肝臓，腎臓，肺，筋肉などに蓄積し，がんや白血病の原因になるといわれている。しかし，人体への影響は半減期によって異なるんだ。

たとえば，ヨウ素131が含まれた水を飲んだときの内部被ばくについて考えてみよう。ヨウ素131の半減期は約 8 日だから，32日で16分の 1 に減少するんだ。3 ヶ月もすればほぼゼロになるから，この問題は時間がたてば解決するんだよ。

内部被ばくや外部被ばくについてもむやみに怖がらず，正しい知識を身につけることが必要だ。X 線によるレントゲン診断や悪性腫瘍を治療するために $\gamma$ 線を用いるなど，医療分野では放射線を有効活用していることも理解しておこう。

# 付録　本書に登場した重要公式一覧

## Theme 01　物理に必要な数学 ➡P.12

◆重要公式◆

$$\tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \qquad \sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$

## Theme 04　等加速度直線運動 ➡P.23, 25

◆重要公式◆

速度　$v = v_0 + at$

位置　$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

速度と変位の関係　$v^2 - v_0{}^2 = 2a\Delta x$

## Theme 10　弾 性 力 ➡P.36

◆重要公式◆

フックの法則　$F = kx$（ばね定数〔N/m〕）

## Theme 11　水圧と浮力 ➡P.38

◆重要公式◆

水深 $h$ の水圧　$p_0 + \rho gh$（$\rho$：水の密度）

## Theme 11　水圧と浮力 ➡P.40

◆重要公式◆

浮力　$\rho Vg$

## Theme 12　運動の法則 ➡P.44

◆重要公式◆

運動方程式　$m\vec{a} = \vec{F}$

重力の大きさ　$mg$〔N〕

## Theme 15　仕　　事 ➡P.58

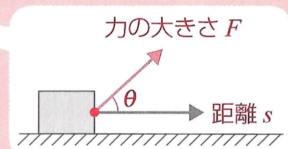
◆重要公式◆

仕事　$W = Fs\cos\theta$

❶ $\theta = 0°$ ➡ $W = Fs$

❷ $\theta = 90°$ ➡ $W = 0$

❸ $\theta = 180°$ ➡ $W = -Fs$



## Theme 15 仕　事 P.60

◆重要公式◆

仕事率　$P = \dfrac{W}{t} = Fv$

$W = Fs$ が一定の場合は

$\dfrac{W}{t} = \dfrac{Fs}{t} = Fv$

## Theme 16 運動エネルギー P.62

◆重要公式◆

運動エネルギー　$\dfrac{1}{2}mv^2$

運動エネルギーと仕事の関係

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = W$$

## Theme 17 位置エネルギー P.66

◆重要公式◆

重力による位置エネルギー　$U = mgh$
（基準点は任意）

注　基準点より高いときは $h > 0$，低いときは $h < 0$

弾性力による位置エネルギー　$U = \dfrac{1}{2}kx^2$
（基準点は自然長）



## Theme 17 位置エネルギー P.66

◆重要公式◆

［保存力の仕事］$= U_{前} - U_{後}$

## Theme 18 力学的エネルギー P.68

◆重要公式◆

［力学的エネルギーの変化］＝［非保存力の仕事］

## Theme 18 力学的エネルギー P.70

◆重要公式◆

力学的エネルギー保存の法則

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + U_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + U_1$$

成立条件 ➡ 保存力のみ仕事をする

## Theme 19 熱と温度 P.73

◆重要公式◆

絶対温度 $T$〔K〕とセルシウス温度 $t$〔℃〕の関係

$$T = t + 273.15$$

## Theme 20 比熱と熱容量 P.76

◆重要公式◆

比熱　$c = \dfrac{Q}{m\Delta T}$ ➡ 熱量　$Q = mc\Delta T$

熱容量　$C = mc$

## Theme 20 比熱と熱容量 P.78

◆重要公式◆

熱量の保存

**高温物体が失った熱量 ＝ 低温物体が得た熱量**

## Theme 21 波の基本式 P.82

◆重要公式◆

振動数と周期の関係　$f = \dfrac{1}{T}$

波の速さ　$v = f\lambda$

## Theme 27 う な り P.101

◆重要公式◆

うなりの振動数　$|f_1 - f_2|$



## Theme 28 弦の振動 P.104

◆重要公式◆

弦を伝わる横波の速さ　$v = \sqrt{\dfrac{S}{\rho}}$

弦の張力〔N〕

弦の線密度〔kg/m〕
（単位長さあたりの質量）

## Theme 31 電流とオームの法則 P.112

◆重要公式◆

電流　$I = \dfrac{q}{t}$

## Theme 31 電流とオームの法則 P.115

◆重要公式◆

オームの法則　$V = RI$

## Theme 32 抵抗と抵抗率 P.116

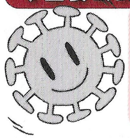
◆重要公式◆

抵抗　$R = \rho\dfrac{l}{S}$

抵抗率〔Ω・m〕

## Theme 33 合成抵抗 ➡P.120

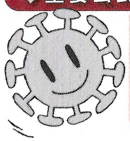
◆重要公式◆



直列接続の合成抵抗　$R = R_1 + R_2 + \cdots$

## Theme 33 合成抵抗 ➡P.122

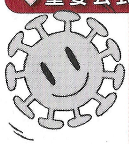
◆重要公式◆



並列接続の合成抵抗　$\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \cdots\cdots$

## Theme 38 交流と変圧器 ➡P.134

◆重要公式◆



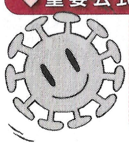
電圧と巻数の関係　$\dfrac{V_2}{V_1} = \dfrac{N_2}{N_1}$

エネルギー保存則　$I_1V_1 = I_2V_2$

（理想的な変圧器）

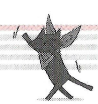
## Theme 40 エネルギーとその利用 ➡P.142

◆重要公式◆



電力　$P = IV$

ジュール熱　$Q = IVt$





# さ　く　い　ん





〔テキスト執筆〕

**大渕　一彦**（おおぶち　かずひこ）

山形県酒田市（旧平田町）生まれ。山形県立酒田東高等学校，名古屋大学工学部応用物理学科卒。

現在は駿台予備学校仙台校にて「物理」「数学」を指導。「数学」「公民」の高校教員免許，経営コンサルタントの国家資格である中小企業診断士，第２種情報処理技術者，１級販売士などの資格を持ち，「物理」の指導だけに留まらない幅広い知識を有する才人。趣味は，バイクツーリング。

著書に，『物理Ⅰ　即効！　でるとこだけ』『物理Ⅱ　即効！　でるとこだけ』『物理基礎早わかり　一問一答』『物理早わかり　一問一答』（以上，中経出版）がある。

〔イラスト監修〕

**東雲研究所**（しののめけんきゅうじょ）

TVアニメ『日常』の製作委員会。

『日常』という作品を世に送り出した悪の枢軸集団！（え⁉　ホント⁉）

「東雲研究所は今日も平和であった。」

本書の内容に関するお問い合わせ先
中経出版編集部　電　話　03(3262)2124
メール　henshu@chukei.co.jp

『日常』と学ぶ　物理基礎が面白いほどわかる本（検印省略）

2012年6月15日　第1刷発行

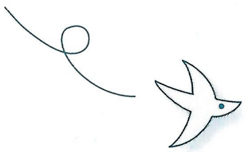
著　者　大渕　一彦（おおぶち　かずひこ）
発行者　安部　毅一

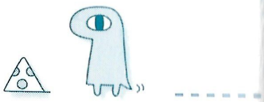
発行所　㈱中経出版
〒102-0083
東京都千代田区麹町3の2 相互麹町第一ビル
電話　03(3262)0371（営業代表）
03(3262)2124（編集代表）
FAX 03(3262)6855　振替 00110-7-86836
ホームページ　http://www.chukei.co.jp/

乱丁本・落丁本はお取替え致します。
DTP／フォレスト　印刷／加藤文明社　製本／三森製本所

©2012 Kazuhiko Oobuchi & Keiichi Arawi/KADOKAWA SHOTEN/Shinonome Lab, Printed in Japan.

ISBN978-4-8061-4414-4　C7042





『日常』と学ぶ物理基礎が面白いほどわかる本

新課程版

中経
441